

624.3
Qom
8 0 en



GERUSAN LOKAL DASAR SALURAN PADA BUKAAN DI HILIR PINTU SORONG

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh

Syeh Qomar

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2003

LEMBAR PENGESAHAN

GERUSAN LOKAL DASAR SALURAN PADA BUKAAN
DI HILIR PINTU SORONG

Disusun oleh

SYEH QOMAR

NIM. L4A098050

Dipertahankan di Depan Tim Penguji tanggal :

19 Desember 2003

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

1. Ketua : Dr. Ir. Maryono Bony, ME
2. Sekretaris : Ir. Salamun, MS
3. Anggota 1 : Ir. Sugianto, M.Eng
4. Anggota 2 : Ir. Sri Sangkawati, MS
5. Anggota 3 : Dr. Ir. Suripin, M.Eng

1.
2.
3.
4.
5.

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft.	2253/T/MTS/01
Tgl.	6 Maret 04

Semarang, 29 Desember 2003
Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil



ABSTRAKSI

Gerusan lokal yang terjadi di hilir pintu sorong dapat menimbulkan gangguan pada konstruksi pintu itu sendiri, karena kedudukan pintu dapat tidak stabil atau rusak. Gerusan lokal ini diakibatkan oleh pengoperasian pintu sorong, dimana pada waktu pintu dibuka atau ditutup terjadi perubahan aliran di tempat tersebut. Perubahan aliran ini menyebabkan tergerusnya dasar saluran, apabila dasar saluran dari material yang mudah tergerus.

Pola gerusan lokal ini dikaji melalui model fisik dua dimensi dari pintu sorong baja yang terletak pada flum dimana bagian dasarnya merupakan hamparan pasir (material mudah tergerus).

Setelah dipelajari dan diadakan percobaan, diperoleh pola gerusan lokal dihilir pintu sorong yang dapat digambarkan sebagai kurva polynomial pangkat enam. Bagian terdalam dari gerusan berada dekat lubang pintu.

Dari penelitian ini disarankan bahwa agar pintu sorong cukup aman terhadap gerusan lokal yang terjadi di dasar saluran, maka bagian hilir pintu perlu diberi pasangan atau hamparan material dengan diameter besar sehingga tidak mudah tergerus.

ABSTRACT

Local scouring on the downstream of sluice gate may generate disruption on the gate structure as the gate base is become unstable or even broken . This local scour is caused by the operation of the sluice gate, when it is opened and closed the flow is changed rapidly. This flow change may cause scouring on the bed channel when it is composed from erodible material.

The scour profiles was investigated through two dimensional physical model of sluice gate which is installed on flum with the bed material of sand (erodible material).

Having been studied and tested, the scour profiles on the downstream of sluice gate is could be exposed with sixth power polynomial curve. The deepest part of the local scour was near the gate opened.

It is suggested that in order to avoid scouring at the downstream of the sluice gate has to be protected by concrete block or covered with large diameter material that could be invaded by the flow.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, karena atas rahmat-Nya penulisan tesis ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

- Bapak Dr. Ir. Maryono Bony, ME, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan dorongan sehingga selesainya tesis ini.
- Bapak Ir. Salamun, MS, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran sehingga tesis dapat diselesaikan.
- Bapak Dr. Ir. Suripin, M.Eng, selaku Ketua Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UNDIP yang telah menyediakan sarana dan fasilitas sehingga terlaksananya penulisan tesis ini.
- Bapak Ir. Isnugroho, CES, selaku Kepala Balai Sungai Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, yang telah memberikan fasilitas tempat penelitian untuk tesis ini.
- Bapak Ir. Budi Santoso, dari Balai Sungai yang telah membantu dalam penyediaan alat-alat, sarana dan prasarana sehingga penelitian dapat berjalan lancar.

Pada kesempatan ini juga diucapkan terima kasih kepada sanak keluarga, teman-teman, handai taulan dan semua pihak yang telah membantu baik moril maupun materiil hingga dapat terselesaikannya tesis ini. Akhirnya semoga tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua dan dapat dipakai sebagai rujukan penelitian selanjutnya.

Semarang, Desember 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABTRAKSI.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	2
1.3. Ruang Lingkup.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Aliran Pada Saluran Terbuka.....	3
2.1.1. Jenis Aliran.....	3
2.1.2. Kondisi Aliran.....	4
2.2. Aliran Air Melewati Bukaannya Pintu	7
2.3. Tipe Loncatan Air.....	10
2.4. Debit Aliran Lewat Pintu Sorong..	12
2.5. Gerusan Lokal.....	15
2.5.1. Mekanisme Gerusan Lokal.....	15
2.5.2. Analisis Gerusan Lokal.....	17
2.5.3. Rumus-rumus Gerusan Lokal.....	18
2.6. Model Saluran.....	26
2.7. Model Fisik.....	27
2.8. Besaran dan Skala..	27
2.9. Skala Model Saluran.....	31

BAB III	METODOLOGI, ASUMSI DAN PROSEDUR	
3.1.	Umum.....	33
3.2.	Instalasi Sistim Pengaliran.....	34
3.3.	Flum Untuk Pengamatan.....	35
3.4.	Peralatan Dan Bahan Percobaan.....	36
3.4.1.	Peralatan.....	36
3.4.2.	Bahan Percobaan.....	39
3.5.	Pelaksanaan Penelitian.....	39
3.5.1.	Persiapan.....	39
3.5.2.	Pelaksanaan Percobaan.....	40
3.6.	Pencatatan Data.....	42
 BAB IV	 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Analisa Data	43
4.1.1.	Data dari Pelaksanaan Percobaan dengan Debit 20 Liter per detik.....	43
4.1.2.	Data dari Pelaksanaan Percobaan dengan Debit 15 Liter per detik.....	48
4.1.3.	Data dari Pelaksanaan Percobaan dengan Debit 10 Liter per detik.....	53
4.2.	Pembahasan.....	58
4.2.1.	Gerusan Lokal Untuk Debit 20 Liter per detik	58
4.2.2.	Gerusan Lokal Untuk Debit 15 Liter per detik	72
4.2.3.	Gerusan Lokal Untuk Debit 10 Liter per detik	84
 BAB V	 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan.....	97
5.2.	Saran.....	97
 DAFTAR PUSTAKA.....		 98

LAMPIRAN

A. Instalasi Sistim Pengaliran.....	99
B. Model Penelitian Gerusan Lokal Di Hilir Pintu Sorong.....	100
C. Lengkung Gradasi.....	101
D. Bagan Alir Penelitian.....	102

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Data yang digunakan untuk head tinggi.....	21
2.2.	Data yang digunakan untuk head rendah.....	22
2.3.	Skala model tak terdistorsi.....	32
4.1.	Hubungan bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal dengan debit 20 liter per detik.....	43
4.2.	Keadaan aliran pada pengoperasian pintu sorong , pengaliran debit 20 liter per detik.....	44
4.3.	Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$	46
4.4.	Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$	47
4.5.	Hubungan bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal dengan debit 15 liter per detik.....	48
4.6.	Keadaan aliran pada pengoperasian pintu sorong , pengaliran debit 15 liter per detik.....	49
4.7.	Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$	51
4.8.	Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$	52
4.9.	Hubungan bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal dengan debit 10 liter per detik.....	53
4.10	Keadaan aliran pada pengoperasian pintu sorong , pengaliran debit 10 liter per detik.....	54
4.11.	Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$	56
4.12.	Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$	57

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1.	Energi spesifik pada aliran lewat pintu sorong.....	7
2.2.	Loncatan berombak.....	10
2.3.	Loncatan lemah.....	10
2.4.	Loncatan berosilasi.....	10
2.5.	Loncatan tetap.....	11
2.6.	Loncatan kuat.....	11
2.7.a.	Aliran bebas.....	12
2.7.b.	Aliran terbenam.....	12
2.8.	Grafik hubungan antara faktor dalamnya gerusan dengan faktor aliran untuk head tinggi.....	20
2.9.	Grafik hubungan antara faktor dalamnya gerusan dengan faktor aliran untuk head rendah.....	21
2.10.	Gerusan lokal menurut Eggenberger dan Muller.....	23
2.11.	Gerusan lokal menurut Kotaulas.....	24
2.12.	Gerusan lokal menurut Shen.....	25
3.1.	Aliran lewat pintu sorong.....	33
3.2.	Garis-garis pada kaca pengamatan.....	36
3.3.	Point gauge.....	37
3.4.	Alat ukur debit Thomson.....	38
3.5.	Bukaan pintu sorong.....	40
3.6.	Proses terjadinya gerusan lokal.....	41
4.1.	Garis kontur gerusan akibat debit 20 liter per detik.....	44
4.2.	Garis kontur gerusan akibat debit 15 liter per detik.....	49
4.3.	Garis kontur gerusan akibat debit 10 liter per detik.....	54
4.4.	Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$	60
4.5.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 5'$	61
4.6.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 10'$	62

4.7.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 15'$.	63
4.8.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 25'$.	64
4.9.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 38'$.	65
4.10.	Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$	66
4.11.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 5'$.	67
4.12.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 10'$.	68
4.13.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 15'$.	69
4.14.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 25'$.	70
4.15.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 38'$.	71
4.16.	Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$	74
4.17.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 5'$.	75
4.18.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 10'$.	76
4.19.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 20'$.	77
4.20.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 35'$.	78
4.21.	Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$	79
4.22.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 5'$.	80
4.23.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 10'$.	81
4.24.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 15'$.	82
4.25.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 15 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 25'$.	83
4.26.	Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$	86
4.27.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 5'$.	87
4.28.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 10'$.	88
4.29.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 20'$.	89
4.30.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 4 \text{ cm}$, $T = 32'$.	90
4.31.	Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$	91
4.32.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 2'$.	92
4.33.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 5'$.	93
4.34.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 10'$.	94
4.35.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 20'$.	95
4.36.	Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/det}$, $z = 6 \text{ cm}$, $T = 38'$.	96

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang dan Notasi

Re	=	bilangan Reynolds
V	=	kecepatan aliran rata-rata
R	=	jari hidraulik
ν	=	kekentalan kinematik
Fr	=	bilangan Froude
g	=	percepatan gravitasi
h	=	kedalaman aliran
y	=	kedalaman aliran setelah loncatan
E	=	energi spesifik
F	=	gaya tekanan hidrostatik
ρ	=	kerapatan massa
γ	=	berat jenis
C_c	=	koefisien kontraksi
C_v	=	koefisien kecepatan
C_d	=	koefisien debit
Q	=	debit aliran
A	=	luas lubang bukaan pintu
B	=	lebar pintu
N_s	=	bilangan sedimen
u	=	kecepatan air didekat dasar
γ_s	=	berat spesifik bahan dasar
D_g	=	diameter tipikal butiran pada lapisan permukaan
V_s	=	volume lubang gerusan
t	=	waktu
s	=	kedalaman lubang gerusan
Q_s	=	sedimen yang terangkat dari lubang gerusan
q	=	debit persatuan lebar

- H = total head antara muka air di hulu dan muka air di hilir
- T = penggerusan terdalam dibawah muka air di hilir setelah kesetimbangan tercapai.
- D = diameter rata-rata butir material dasar
- d_s = dalamnya penggerusan dihitung dari permukaan air diatas tempat penggerusan sampai dasar penggerusan.
- d_{10} = diameter butir material dasar dengan hanya 10% yang lebih kasar.
- f = silt factor
- h_m = kedalaman gerusan maksimum pada keadaan equilibrium
- B_o = lebar bukaan pintu
- U_o = kecepatan aliran pancaran air

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Instalasi Sistim Pengaliran.....	99
B. Model Penelitian Gerusan Lokal Di Hilir Pintu Sorong.....	100
C. Lengkung Gradasi.....	101
D. Bagan Alir Penelitian.....	102

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak dahulu diketahui bahwa air merupakan kebutuhan pokok manusia. Pemanfaatannya untuk menunjang kehidupan manusia dirasa makin hari makin berkembang. Mulai dari makan minum dan sanitasi sampai pada produksi barang industri, penerangan dan irigasi, banyak mengandalkan potensi sumber air, diantaranya air sungai, air tanah, dan sebagainya.

Sehubungan dengan pemanfaatan air untuk irigasi dan kebutuhan yang lain, seringkali dibuatlah bangunan air seperti waduk, saluran, pintu air, terjunan, bendung dan lain sebagainya guna mengatur dan mengendalikan air tersebut. Untuk menyalurkan air ke berbagai tempat guna keperluan irigasi, drainase, air bersih dan sebagainya sering dibuat saluran dengan menggunakan saluran terbuka. Pada pengoperasiannya untuk membagi air, mengatur debit dan sebagainya kadang-kadang diperlukan suatu alat yang disebut pintu air. Banyak macam dan jenis pintu air dan salah satu diantaranya adalah pintu sorong (sluice gate). Sewaktu pintu dioperasikan akan terjadi pola aliran di daerah bukaan pintu yang mana arus aliran tersebut akan berinteraksi dengan material-material yang ada di sekelilingnya. Interaksi arus aliran dengan dasar saluran akan menyebabkan material di dasar saluran tergerus. Apabila di dasar saluran tersebut bermaterial lunak atau material lepas maka akan terjadi pola gerusan tertentu yang mencerminkan pola gerusan akibat aliran tersebut.

Adanya gerusan ini akan secara berangsur merusak dasar dari saluran yang akhirnya akan membahayakan stabilitas pintu itu sendiri. Oleh karena adanya fenomena seperti ini maka perlu ada suatu upaya untuk mempelajari pola gerusan pada dasar pintu tersebut yang nantinya dapat dipakai sebagai dasar untuk mengatasi keadaan. Cara untuk mengatasi hal tersebut tentunya tidak terlepas dari karakter kekuatan gerusan yang timbul dan material yang membentuk dasar salurannya. Dengan adanya masukan bagi para perencana bangunan air diharapkan saluran dan konstruksi pintu menjadi aman paling tidak untuk jangka waktu yang cukup lama.

1.2. Maksud dan Tujuan

Tesis yang diajukan ini dimaksudkan mengkaji mengenai pola gerusan lokal (local scouring) yang terjadi di dasar saluran apabila di tempat tersebut ada pintu sorong (sluice gate). Sejauh mana gerusan yang ditimbulkan didasar saluran sekitar pintu apabila pintu tersebut dioperasikan.

Pada pembukaan pintu akan terjadi arus aliran yang kecepatannya lebih besar dibanding arus aliran sebelum dan sesudah pintu. Bahkan kecuali kecepatan aliran yang lebih besar akan terjadi juga pusaran air. Dari kejadian ini sangat mungkin bahwa tenaga yang ditimbulkan akan merusak material di sekelilingnya, terutama pada dasar saluran. Oleh karena itu disini akan dikaji bagaimana pola gerusan lokal yang terjadi di dasar saluran tersebut dengan mengamati gerusan lokal yang terjadi akibat aliran air yang keluar lewat bukaan pintu sorong. Hasil ini nantinya dapat dipakai untuk keperluan informasi bagi perencanaan bangunan pintu air dan para pengelola / pengoperasi bangunan pintu air untuk tujuan eksploitasi dan pemeliharannya. Kemudian secara umum juga dapat memberi kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan.

1.3. Ruang Lingkup

Disadari bahwa permasalahan yang timbul adanya gerusan lokal di dasar saluran akibat aliran air pada bukaan pintu sorong tidaklah sesederhana seperti yang dibayangkan. Tetapi dengan pembatasan masalah yang ada, maka kajian ini dapat dipersempit sehingga tidak semua permasalahan harus dibahas. Oleh karena itu ruang lingkup pengamatan dibatasi sebagai berikut :

- Debit aliran yang digunakan untuk pengamatan sesuai kemampuan peralatan, yaitu 20 liter per detik, 15 liter per detik, 10 liter per detik.
- Pasir yang digunakan sebagai dasar saluran yang dikaji, lolos saringan 6,0 x 6,0 mm dan tertahan saringan 2,0 x 2,0 mm.
- Pengoperasian pintu dimulai dari bukaan penuh, turun 2 cm, 4 cm, 6 cm dari bukaan penuh.
- Pengamatan gerusan pada setiap bukaan pintu dimulai dari dasar rata (belum tergerus) sampai gerusan lokal mencapai keadaan equilibrium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk menyalurkan air ke berbagai tempat guna keperluan irigasi, drainase, air bersih dan sebagainya sering dibuat saluran yang menggunakan saluran terbuka. Pada pengoperasiannya untuk membagi air, mengatur debit dan sebagainya kadang-kadang diperlukan suatu alat yang disebut pintu air. Banyak macam dan jenis pintu air dan salah satu diantaranya adalah pintu sorong (sluice gate).

Dalam mengamati gerusan yang diakibatkan oleh aliran air pada saat pintu air dioperasikan tentu tidak terlepas dari pengamatan konsep-konsep dasar aliran pada saluran terbuka, konsep aliran melewati lubang pintu dan loncatan air. Pada loncat air dapat dilihat olakan air yang sangat besar, yang disertai dengan berkurangnya energi aliran. Setelah loncat air, aliran menjadi tenang dengan kedalaman besar dan kecepatan kecil. Karena olakan yang sangat besar maka loncat air dapat menyebabkan terjadinya erosi di lokasi tersebut.

2.1. Aliran Pada Saluran Terbuka

2.1.1. Jenis Aliran

Secara hidraulis aliran di dalam saluran terbuka dapat dibagi menjadi beberapa macam yang mana pembagian ini berhubungan dengan perubahan kecepatan yang tergantung pada waktu dan ruang.

Jika waktu yang dipergunakan sebagai ukuran maka aliran dapat digolongkan menjadi aliran langgeng dan aliran tak langgeng.

Jika ruang yang dijadikan sebagai ukuran maka aliran dapat digolongkan menjadi aliran seragam dan aliran tak seragam. Aliran tak seragam ini masih dibagi lagi menjadi aliran tak seragam berubah mendadak dan aliran seragam berubah lambat laun atau perlahan-lahan.

Aliran disebut aliran langgeng jika kecepatan pada setiap tempat tidak tergantung pada waktu, atau secara matematis dapat dinyatakan dengan $\partial v / \partial t = 0$. Dimana ∂v menyatakan perubahan kecepatan pada setiap tempat yang bergantung pada waktu ∂t .

Aliran disebut aliran tak langgeng jika kecepatan pada setiap tempat bergantung pada waktu, secara matematis dapat dinyatakan dengan $\partial v / \partial t \neq 0$.

Apabila tidak ada perubahan kecepatan baik besar maupun arahnya disetiap penampang melintang saluran maka aliran disebut seragam. Keadaan ini akan terpenuhi jika ukuran dan bentuk penampang melintang saluran disetiap tempat tidak berubah. Oleh karena itu aliran seragam jarang terjadi pada saluran tanah alluvial, dikarenakan butiran-butiran tanah alluvial dasar saluran tersebut bergerak sehingga bentuk dasar dari saluran akan berubah yang mana akan merubah pula sifat dari alirannya. Secara matematik aliran seragam dapat dinyatakan dengan $\partial v / \partial s = 0$ dan $\partial v / \partial n = 0$.

Dimana ∂s adalah jarak yang ditempuh oleh partikel cairan dengan kecepatan V , ∂v adalah perubahan kecepatan sepanjang jarak ∂s dan ∂n adalah normal daripada aliran.

Aliran disebut aliran tak seragam jika kecepatan di setiap penampang melintang saluran tergantung pada waktu dan arah sehingga secara matematik dapat dinyatakan dengan $\partial v / \partial s \neq 0$ dan $\partial v / \partial n \neq 0$.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya aliran tak seragam ini masih dibagi lagi menjadi aliran tak seragam berubah mendadak dan aliran tak seragam berubah lambat laun atau perlahan-lahan.

Aliran disebut aliran tak seragam berubah mendadak jika perubahan kecepatan terjadi sekonyong-konyong pada jarak yang pendek seperti halnya pada terjunan. Sedangkan aliran tak seragam berubah lambat laun atau perlahan-lahan jika perubahan kecepatan terjadi perlahan-lahan pada jarak yang cukup panjang.

Aliran seragam dan aliran tak seragam dapat merupakan aliran langgeng dan aliran tak langgeng yang tergantung dari perubahan kecepatan sehubungan dengan waktu.

2.1.2. Kondisi Aliran

Keadaan aliran di saluran terbuka dipengaruhi oleh kekentalan dan gaya berat yang berhubungan dengan gaya inersia dari aliran.

Berdasarkan pengaruh kekentalan terhadap inersia, aliran dapat merupakan aliran laminar, turbulen dan aliran peralihan. Ketiganya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds yang merupakan fungsi dari kecepatan (V), jari-jari hidraulik (R) dan kekentalan kinematik (ν).

Aliran dikatakan laminar apabila tahanan antara lapisan-lapisan zat cair lebih besar jika dibandingkan dengan gaya inersia, sehingga kekentalan lebih menentukan sifat aliran.

Pada keadaan ini garis arus tampak lurus karena butir-butir air bergerak secara teratur menurut garis arus.

Aliran disebut turbulen apabila tahanan antara lapisan-lapisan zat cair sangat lemah dibandingkan dengan gaya inersia. Pada keadaan ini garis arus tampak bergelombang karena butir-butir air bergerak secara tidak teratur.

Antara aliran laminar dan turbulen terdapat keadaan campuran yang disebut keadaan peralihan.

Aliran di saluran terbuka adalah laminar apabila harga bilangan Reynolds < 500 dan turbulen jika harga bilangan Reynolds > 1000 .

Bilangan Reynolds :

$$Re = \frac{VR}{\nu} \quad (2.1)$$

Dimana :

V = kecepatan

R = jari-jari hidraulik

ν = kekentalan kinematik

Berdasarkan gaya berat terhadap inersia, aliran dapat merupakan aliran sub kritis, kritis dan super kritis. Ketiganya dipengaruhi oleh bilangan Froude yang merupakan fungsi dari kecepatan (V) dan kedalaman aliran (h).

Bilangan Froude :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (2.2)$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata

g = gaya gravitasi

h = kedalaman aliran

Ada 3 macam aliran sebagai berikut :

(i) Aliran Sub Kritis

Aliran dikatakan sub kritis apabila gaya berat lebih besar daripada gaya inersia, sehingga air akan mengalir dengan kecepatan rendah.

Pada aliran sub kritis $V < \sqrt{gh}$ dan $Fr < 1$.

Dalam mekanisme gelombang \sqrt{gh} dapat disamakan dengan kecepatan perambatan gelombang dangkal.

Jika $V < \sqrt{gh}$ maka kecepatan perambatan gelombang akan lebih besar daripada kecepatan rata-rata aliran, sehingga gelombang dapat bergerak ke arah hulu.

(ii) Aliran Super Kritis

Aliran dikatakan super kritis apabila gaya berat sangat lemah bila dibanding dengan gaya inersia, sehingga air akan mengalir dengan kecepatan tinggi.

Pada aliran super kritis $V > \sqrt{gh}$ dan $Fr > 1$.

Jika $V > \sqrt{gh}$ maka kecepatan perambatan gelombang akan lebih kecil daripada kecepatan rata-rata aliran, sehingga gelombang hanya bergerak ke arah hilir.

(iii) Aliran Kritis

Antara keadaan sub kritis dan super kritis terdapat keadaan kritis.

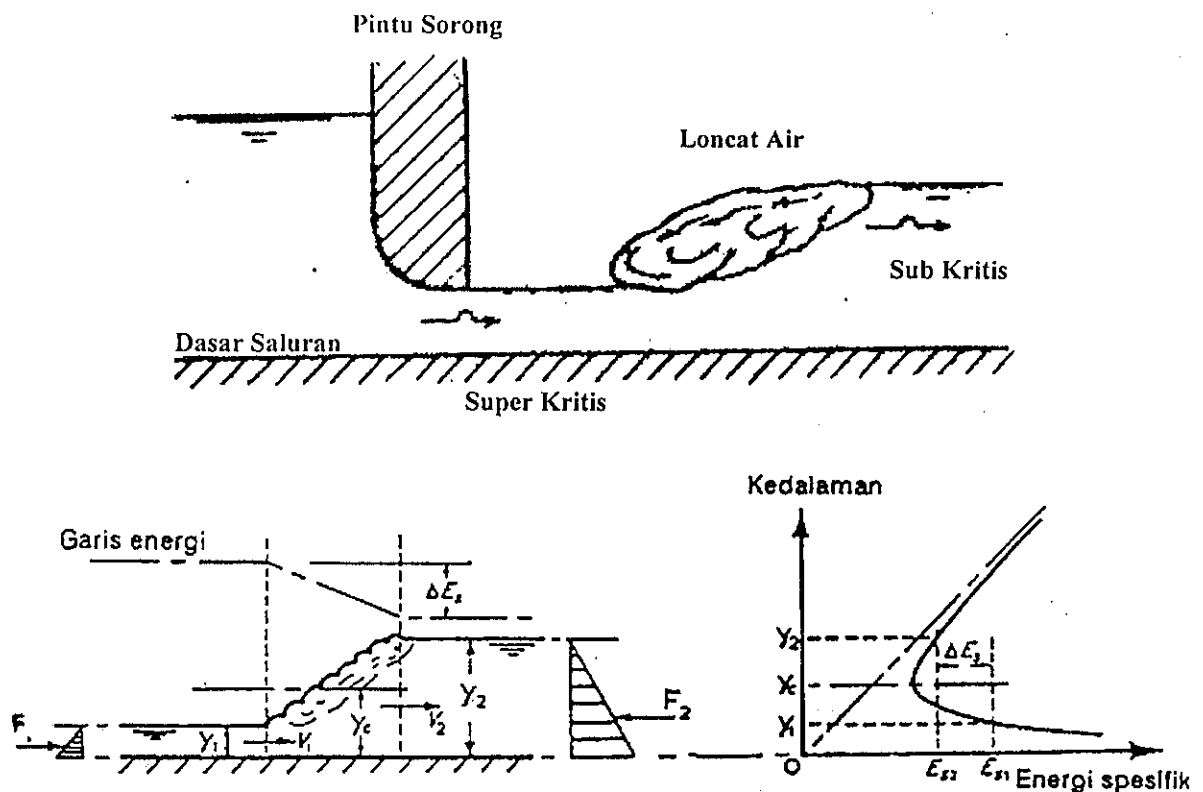
Pada aliran kritis $V = \sqrt{gh}$ dan $Fr = 1$.

Jika $V = \sqrt{gh}$ maka kecepatan perambatan gelombang sama dengan kecepatan rata-rata aliran, sehingga tidak ada pergerakan gelombang.

Kedalaman pada keadaan kritis disebut kedalaman kritis

2.2. Aliran Air Melewati Bukaannya Pintu

Apabila tipe aliran di saluran berubah dari aliran super kritis menjadi sub kritis maka akan terjadi loncatan air. Loncatan air merupakan salah satu contoh bentuk aliran berubah cepat (rapidly varied flow). Keadaan ini terjadi misalnya pada aliran air melewati bukaan pintu sorong (vertical sluice gate). Aliran di bagian hulu setelah lewat pintu adalah super kritis sedang di bagian hilirnya adalah subkritis. Diantara kedua tipe aliran tersebut terdapat daerah transisi dimana loncatan air terjadi.



Gambar 2.1 : Energi spesifik pada aliran lewat pintu sorong

Pada loncatan air, kecepatan aliran berkurang secara mendadak dari v_1 menjadi v_2 . Sejalan dengan itu kedalaman aliran juga bertambah dengan cepat dari y_1 menjadi y_2 , sehingga dapat dilihat olakan air yang sangat besar, yang disertai dengan berkurangnya energi aliran. Setelah loncatan air, aliran menjadi tenang dengan kedalaman besar dan kecepatan kecil. Karena olakan yang sangat besar maka loncatan air dapat menyebabkan terjadinya erosi di lokasi tersebut.

Didalam menelaah loncatan air, parameter yang diperlukan adalah kedalaman air awal y_1 , kedalaman air akhir y_2 , dan panjang loncatan air.

Dilihat aliran pada loncatan air yang dibatasi oleh potongan I dan II. Gaya-gaya yang bekerja adalah gaya tekanan hidrostatik di potongan I dan II. Debit aliran adalah Q , sedang debit tiap satuan panjang adalah $q = Q/B$, dengan B adalah lebar saluran.

Gaya tekanan hidrostatik tiap satuan lebar pada potongan I adalah :

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma y_1^2 = \frac{1}{2} \rho g y_1^2 \quad (2.3)$$

Gaya tekanan hidrostatik tiap satuan lebar pada potongan II adalah :

$$F_2 = \frac{1}{2} \gamma y_2^2 = \frac{1}{2} \rho g y_2^2 \quad (2.4)$$

Persamaan momentum untuk gaya-gaya tiap satuan lebar adalah :

$$F = \rho q (V_2 - V_1)$$

$$\frac{1}{2} \rho g y_1^2 - \frac{1}{2} \rho g y_2^2 = \rho q (V_2 - V_1) = \rho q \left(\frac{q}{y_2} - \frac{q}{y_1} \right) \quad (2.5)$$

$$(y_2^2 - y_1^2) = \frac{2q^2}{g} \left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_2} \right)$$

$$(y_2^2 - y_1^2) = \frac{2q^2}{g y_1 y_2} (y_2 - y_1)$$

$$(y_2 + y_1) (y_2 - y_1) = \frac{2q^2}{g y_1 y_2} (y_2 - y_1)$$

$$y_2 + y_1 = \frac{2q^2}{g y_1 y_2}$$

$$y_2^2 + y_1 y_2 = \frac{2q^2}{g y_1}$$

$$y_2^2 + y_1 y_2 - \frac{2q^2}{g y_1} = 0$$

Penyelesaian dari persamaan diatas (persamaan kuadrat) akan didapat nilai y_2 :

$$y_2 = \frac{-y_1 \pm \sqrt{y_1^2 + 4 \times 2q^2/gy_1}}{2}$$

Dari kedua nilai y_2 diambil yang positif, sehingga :

$$\begin{aligned} y_2 &= -\frac{1}{2}y_1 + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gy_1}} \\ &= -\frac{1}{2}y_1 + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2y_1 V_1^2}{g}} \\ &= y_1 \left(\frac{1}{2}y_1 + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2V_1^2}{gy_1}} \right) \\ \frac{y_2}{y_1} &= \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1) \end{aligned}$$

dengan $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$ adalah angka Froude pada aliran sebelah hulu. Dengan demikian apabila y_1 diketahui maka dapat dihitung y_2 .

Kehilangan tenaga pada loncatan air :

$$\begin{aligned} E_{s1} - E_{s2} &= \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (2.6) \\ &= (y_1 - y_2) + \frac{q^2}{2gy_1^2} - \frac{q^2}{2gy_2^2} \\ &= (y_1 - y_2) + \frac{q^2}{2gy_1^2 y_2^2} (y_2^2 - y_1^2) \end{aligned}$$

Setelah q dieliminasi menggunakan persamaan terdahulu maka persamaan menjadi :

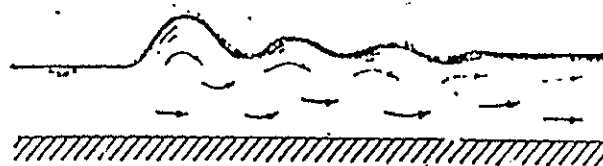
$$\Delta E_s = E_{s1} - E_{s2} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan panjang loncatan air, tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitungnya. Panjang loncat air dapat ditentukan dengan percobaan di laboratorium. Untuk saluran segiempat, panjang loncatan air diambil antara 5 dan 7 kali tinggi loncat air.

2.3. Tipe Loncatan Air

Gambaran dari loncatan air dapat bervariasi sesuai dengan bilangan Froude. Keadaan tersebut dapat dibedakan dalam :

- a. Apabila bilangan Froude $Fr = 1$ sampai $1,7$, gelombang muncul pada permukaan air. Disebut loncatan berombak atau undular jump.



Gambar 2.2 : $Fr = 1-1,7$ Loncatan berombak

- b. Apabila bilangan Froude $Fr = 1,7$ sampai $2,5$, terjadi gulungan ombak kecil di permukaan loncatan dan disebut loncatan lemah atau weak jump. Permukaan bagian hilir tenang.



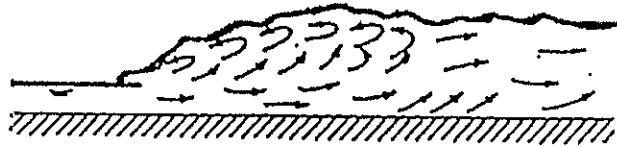
Gambar 2.3 : $Fr = 1,7-2,5$ Loncatan lemah

- c. Apabila bilangan Froude $Fr = 2,5$ sampai $4,5$, maka terjadi semburan berosilasi bergerak ke permukaan . Dalam keadaan ini disebut loncatan berosilasi atau oscillating jump.



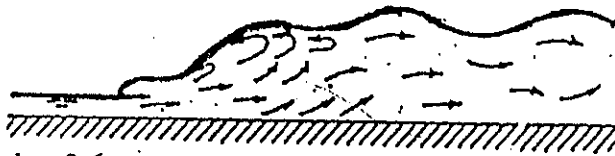
Gambar 2.4 : $Fr = 2,5-4,5$ Loncatan berosilasi

- d. Apabila bilangan Froude $Fr = 4,5$ sampai $9,0$, maka akan terjadi ujung permukaan yang bergulung dengan permukaan air yang tenang di bagian hilir. Keadaan ini disebut loncatan tetap atau steady jump dan dalam hal ini peredaman energi dapat mencapai 45 sampai 70%.



Gambar 2.5 : $Fr = 4,5-9,0$ Loncatan tetap

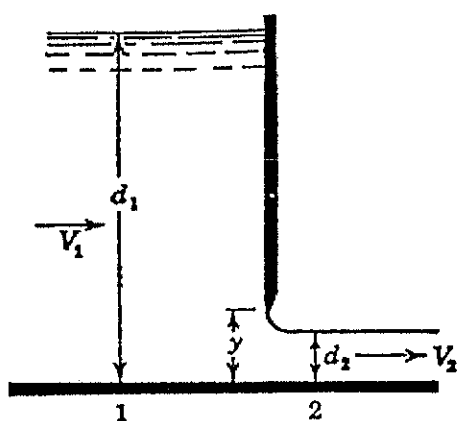
- e. Apabila bilangan Froude > 9 , loncatan yang kuat dengan pusaran yang keras terjadi, menyebabkan gelombang di bagian hilir. Dalam hal ini disebut loncatan kuat atau strong jump. Peredaman energi sampai 85%.



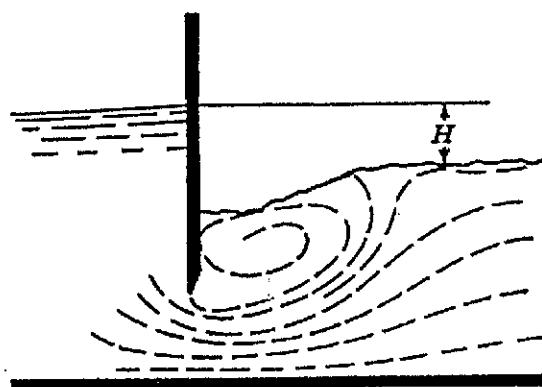
Gambar 2.6 : $Fr > 9,0$ Loncatan kuat

2.4. Debit Aliran Lewat Pintu Sorong (Sluice Gate)

Bentuk penampang aliran lewat pintu sorong, mempunyai sisi atas yang tajam dan tidak ada kontraksi pada sisi-sisi samping maupun bagian bawah seperti terlihat pada gambar. Alirannya dapat seperti pada gambar a atau terbenam seperti pada gambar b.



Gambar 2.7 a : Aliran Bebas



Gambar 2.7 b : Aliran Terbenam

Pada aliran bebas, dengan perbandingan yang besar antara kedalaman hulu dan tinggi bukaan pintu, permukaan aliran keluar dari pintu cukup halus (smooth). Tetapi pada aliran terbenam (tenggelam), permukaan hilirnya akan kasar dan berolak.

Untuk mengetahui kecepatan air yang keluar lewat lubang dapat digunakan persamaan energi. Dipandang titik 1 sebelum melewati pintu dan titik 2 saat air keluar dari pintu, keduanya terletak pada bidang datum yang berada pada dasar saluran. Dapat diasumsikan bahwa tinggi tekan sama dengan kedalaman air dan kehilangan energi bisa dihapuskan, sehingga :

$$\frac{V_1^2}{2g} + d_1 = \frac{V_2^2}{2g} + d_2 \quad (2.8)$$

$$V_2 = \sqrt{2g(d_1 - d_2) + V_1^2} \quad (2.9)$$

Dimana :

V = Kecepatan Aliran

g = Percepatan Gravitasi

d = Kedalaman Air

Karena adanya kontraksi pada lubang, maka ada koefisien kecepatan C_v , sehingga menjadi :

$$V_2 = C_v \sqrt{2g(d_1 - d_2) + V_1^2}$$

$$\text{Koefisien kontraksi } C_c = \frac{Bd_2}{By} = \frac{d_2}{y}$$

Dimana B adalah lebar pintu.

y adalah tinggi bukaan

Oleh karena itu besarnya debit adalah :

$$Q = C_c By C_v \sqrt{2g(d_1 - d_2) + V_1^2} \quad (2.10)$$

$$= C_d A \sqrt{2g(d_1 - d_2) + V_1^2} \quad (2.11)$$

Dimana C_d adalah koefisien debit.

A adalah luas lubang bukaan pintu.

Pemilihan koefisien debit untuk pintu suatu hal yang memerlukan pertimbangan masak dan suatu pemikiran yang cukup karena hanya ada sedikit data eksperimen yang dapat digunakan. Eksperimen yang telah ada memberikan gambaran bahwa koefisien debit untuk pintu sorong serendah-rendahnya 0,61 dan setinggi-tingginya 0,91.

Untuk mendapatkan debit yang tepat apabila rumus tersebut diatas digunakan tentunya sangat tergantung dari ketepatan pengambilan koefisien debitnya.

2.5. Gerusan Lokal

Gerusan lokal (lokal scouring) adalah akibat yang biasa terjadi apabila dalam suatu saluran ditempatkan suatu penghalang atau penghambat laju aliran sampai terjadi perubahan yang mendadak pada arah alirannya. Penghambat aliran ini dapat berupa bangunan-bangunan air yang sengaja dibuat ataupun akumulasi sampah maupun sedimen yang menumpuk pada alur aliran.

Gerusan lokal dimaksudkan sebagai pengikisan dasar saluran atau sungai yang terjadi pada cakupan luasan yang kecil di sekitar pijakan bangunan air. Gerusan lokal dapat terjadi pada titik-titik di mana terdapat perubahan arah aliran secara mendadak, misalnya pada kaki lereng sungai yang bermeander, sisi hulu (nose) dan hilir pilar jembatan, sekeliling fondasi dinding pengelak aliran, di hilir bangunan bendung, di hilir pintu pengatur debit, dan lain-lain.

Gerusan lokal biasanya terjadi bersamaan dengan gerusan di dasar saluran yang meliputi luasan yang lebih besar. Kedua macam gerusan secara akumulatif disebut sebagai degradasi dasar saluran, yang merupakan kebalikan dari peristiwa aggradasi, yaitu pendangkalan dasar saluran akibat pengendapan.

Gerusan lokal perlu dipelajari dan diperkirakan secara khusus untuk memperoleh sub struktur bangunan air yang ekonomis dan aman, dalam arti kedalaman fondasi tidak terlalu dalam ataupun terlalu dangkal terhadap gerusan lokal. Atau bilamana perlu pada bagian yang mungkin terjadi gerusan lokal diberi pelindung. Kesalahan estimasi kedalaman dan tingkat gerusan lokal dapat berakibat fatal yaitu runtuhnya bangunan air karena kerusakan struktur tanah dasar fondasi. Hal-hal penting yang perlu dipelajari tersebut antara lain mekanisme terjadinya gerusan lokal serta perkiraan kedalaman gerusan, sehingga dapat direncanakan pencegahan ataupun pengadaan struktur pengamanan dengan metode yang tepat.

Dari segi kesetimbangan volume bahan sedimen yang tergerus, gerusan lokal dapat dibagi ke dalam tiga jenis :

- a. Gerusan stabil, artinya volume sedimen yang masuk dan keluar lubang gerusan sama.

- b. Gerusan jernih, artinya gerusan terjadi berkesinambungan tanpa ada bahan sedimen yang masuk mengisi kembali lubang gerusan. Dalam kasus ini gerusan akan bertambah dalam sampai batas keseimbangan tertentu.
- c. Gerusan dengan masukan sedimen bervariasi, artinya suplai sedimen yang masuk ke lubang gerusan berubah-ubah volumenya, dapat lebih besar atau lebih kecil daripada volume sedimen yang terangkut keluar dari lubang. Kedalaman gerusan dengan sendirinya juga berubah-ubah sesuai neraca sedimen yang keluar dan masuk.

2.5.1. Mekanisme Gerusan Lokal

Penyebab gerusan lokal adalah fluktuasi gaya-gaya yang bekerja pada dasar saluran, misalnya gaya tekanan (pressure), gaya angkat (lift force), dan gaya geser (shear force).

Urbonas (1968) yang melakukan eksperimen dengan bahan dasar berupa butiran batuan, menyatakan bahwa partikel pada dasar saluran yang mengalami gerusan lokal akan mulai bergerak dan lepas bila aliran mencapai kondisi-kondisi berikut :

- a. Gaya angkat pada partikel jauh melampaui gaya seret (drag force). Namun hasil ini bertentangan dengan pengukuran yang dilakukan oleh White (1940) pada aliran seragam yang menyatakan bahwa gaya angkat adalah nol.
- b. Tekanan pada titik terendah pada partikel mendekati tekanan hidrostatik, yaitu tekanan oleh kolom air setinggi kedalaman air pada titik tersebut.
- c. Fluktuasi tekanan pada permukaan partikel berkaitan dengan gaya angkat rata-rata dan gaya angkat berfluktuasi.
- d. Fluktuasi tertinggi tekanan kebanyakan terjadi dekat puncak partikel dan mendekati nol pada titik terendah partikel. Dapat dianggap bahwa setengah bagian bawah partikel mengalami tekanan hidrostatik yang relatif konstan.

Dari hasil penelitian Urbonas (1968) dan Simon & Stevens (1971) diperoleh kesimpulan mengenai gerak awal partikel batuan yang disusun di atas partikel batuan lainnya.

- 1). Gerakan atau perpindahan partikel diakibatkan oleh kombinasi gaya angkat dan gaya seret akibat gerakan air. Masing-masing gaya ini berpeluang menjadi

faktor dominan, tergantung dari kondisi geometri butiran serta geometri lingkungan batuan sekitarnya. Jika butiran partikel terlindung oleh batuan sekelilingnya maka gaya angkat menjadi dominan, tetapi bila posisi partikel terbuka terhadap aliran utama maka gaya seret akan berperan lebih besar.

- 2). Kecepatan rata-rata di batas partikel hanyalah salah satu sifat aliran yang mengendalikan gerak awal partikel.

Hubungan langsung dari gaya angkat rerata dan kecepatan rerata dapat diperkirakan dalam bentuk persamaan :

$$[\text{lift}]_{\text{rerata}} = [V^2]_{\text{rerata}} \quad (2.12)$$

Namun sebenarnya proses tergeraknya partikel ini cukup rumit, karena ternyata telah berhasil diketahui bahwa suatu partikel dapat berada pada status gerak awal ketika gaya angkat rerata mendekati nol. Sebaliknya sebuah partikel tetap dalam kondisi stabil meskipun gaya angkat rerata cukup besar.

Faktor yang penting adalah gaya angkat sesaat total yang dapat dibangkitkan dan perbandingan gaya angkat sesaat tersebut terhadap massa partikel . Di samping itu gaya angkat sesaat yang besarpun harus bekerja dalam selang waktu yang cukup agar partikel terdorong masuk kedalam arus utama aliran. Jika tidak maka partikel hanya akan terangkat sedikit kemudian jatuh lagi ke posisi semula.

Dalam peristiwa gerusan lokal , turbulensi kemungkinan terbentuk bukan sebagai fungsi dari kekasaran dasar saluran, sehingga kecepatan rata-rata tidak dapat dijadikan sebagai kriteria pokok analisa gerak awal.

Dalam kasus gerusan lokal di dasar saluran akibat aliran air pada bukaan pintu , penyebab utama adalah vortex (pusaran) yang ditimbulkan oleh pintu tersebut. Bila kedalaman gerusan bertambah, tingkat pusaran berkurang dan daya gerusapun berkurang hingga pada suatu saat tercapai kondisi setimbang. Meskipun telah diketahui bahwa vortex sebagai penyebab utama gerusan lokal namun tidak dapat dibuat perhitungan eksak mengenai kekuatan vortex dan hubungannya dengan medan kecepatan serta kedalaman gerusan lokal yang ditimbulkannya. Karena itu dipergunakanlah kecepatan rata-rata dan kedalaman lokal aliran dalam formulasi perkiraan kedalaman gerusan lokal.

2.5.2. Analisis Gerusan Lokal

Sebagaimana telah dinyatakan sebelumnya, peristiwa gerusan lokal sebenarnya cukup rumit, terlihat dengan banyaknya faktor yang berpengaruh. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap gerusan lokal tersebut antara lain sebagai berikut :

- Kemiringan dasar saluran
- Karakteristik tampang melintang saluran
- Karakteristik material dasar saluran setempat
- Karakteristik sedimen yang terangkut oleh aliran
- Karakteristik hidrograf dan riwayat banjir-banjir terdahulu
- Arah aliran pada dasar saluran sebagai fungsi kedalaman saluran
- Karakteristik bangunan air yang bersangkutan, misalnya fungsi kedalaman saluran.

Besaran dasar yang dapat diukur dalam suatu aliran adalah kecepatan rerata dan tegangan geser. Efek fluktuasi turbulensi aliran, pembentukan arus pusar hanya dapat dievaluasi secara kualitatif. Dalam kebanyakan kasus, pengaruh geometri bangunan air hanya dapat dievaluasi akurat dengan model fisik atau model matematik. Daya tahan material dasar terhadap gerusan merupakan fungsi ukuran butir dan susunan letak butiran. Efek daya lekat atau kohesi dalam fenomena gerusan lokal lebih sulit dianalisis karena sifat material yang kompleks, bahkan untuk bahan non kohesif sekalipun, parameter faktor bentuk dan faktor susunan letak butiran sering diabaikan karena rumitnya persoalan.

Evaluasi kuantitatif biasanya dilakukan secara empiris. Carsten (1966) mendefinisikan bilangan sedimen N_s dan menjelaskan fenomena gerusan sebagai fungsi bilangan N_s ini.

$$N_s = \frac{u}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) g D_g}} \quad (2.13)$$

Dimana :

u = kecepatan air di dekat dasar

γ_s = berat spesifik bahan dasar

D_g = diameter tipikal butiran pada lapisan permukaan

Menurut Le Feuvre (1965), u dapat diasumsikan sebagai kecepatan rata-rata V sehingga diperoleh :

$$N'_s = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right)gD_g}} \quad (2.14)$$

Dimana D_g dianggap sama dengan ukuran rata-rata geometri dari komposisi sedimen.

Disisi lain, Altinbilek dan Okay (1973) merumuskan sebuah formula yang menghubungkan karakteristik lubang gerusan dengan karakteristik aliran. Analisis ini diawali dengan persamaan kontinuitas :

$$t = \int_b^s \frac{dV_s}{Q_s} \quad (2.15)$$

Dimana :

V_s = volume lubang gerusan

t = waktu

s = kedalaman lubang gerusan

Q_s = sedimen yang terangkat dari lubang gerusan

2.5.3. Rumus-rumus Gerusan Lokal

Sampai saat ini belum ada rumus yang tepat yang dapat dipergunakan dalam menentukan kedalaman local scouring. Rumus-rumus yang ada sangat dibatasi oleh kondisi-kondisi pada waktu penentuan rumus tersebut. Rumus-rumus hanya berlaku dengan batasan bentuk tertentu, ukuran konstruksi tertentu dan jenis atau sifat material dasar sungai yang tergerus. Rumus-rumus dibawah ini adalah rumus Schocklitsch, Varonese, Wu, Eggenberger Muller dan Kotoulas.

Parameter yang dimasukkan ke dalam perumusan terbatas pada :

$$f(q, v, H, d, g, d_s, D) = 0 \quad (2.16)$$

Dimana :

- q = debit persatuan lebar
 v = kecepatan aliran
 H = total head antara muka air di hulu dan muka air di hilir
 $d = h$ = kedalaman muka air di hilir
 $d_s = T$ = penggerusan terdalam dibawah muka air di hilir setelah kesetimbangan tercapai.
 g = percepatan gravitasi
 D = diameter rata-rata butir material dasar

Parameter ini dapat disederhanakan sehingga persamaannya menjadi :

$$f\left[\frac{d_s}{H}, \frac{q}{(gH^3)^{1/2}}, \frac{d}{H}\right] = 0 \quad (2.17)$$

Untuk sungai-sungai terutama di bagian hilir dan tengah kemiringan dasarnya cukup besar dan alirannya adalah aliran kritis atau super kritis. Harga d dibandingkan dengan H relatif kecil sekali, maka parameter d dan H dapat diabaikan didalam analisa.

Dengan demikian fungsi diatas menjadi :

$$f\left[\frac{d_s}{H}, \frac{q}{(gH^3)^{1/2}}\right] = 0 \quad (2.18)$$

atau

$$\frac{d_s}{H} = f\left\{\left[\frac{q}{gH^3}\right]^{1/2}\right\} \quad (2.19)$$

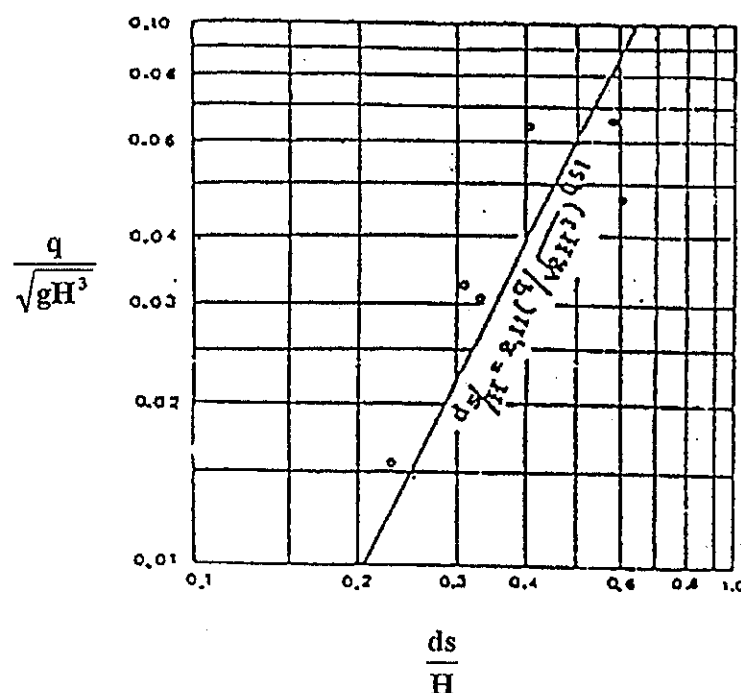
Menurut Prof. Wu

Dengan mempergunakan data dari lapangan dan model dari bangunan-bangunan air di Taiwan, dengan cara penyesuaian Curve didapat :

$$\frac{d_s}{H} = f \left\{ \frac{q}{gH^3} \right\}^{0,51} \quad (2.20)$$

atau ditunjukkan pada grafik dibawah ini yang menyatakan hubungan antara $\frac{d_s}{H}$ dan $\frac{q}{(gH^3)^{1/2}}$ yang masih merupakan parameter dalam penggerusan dan parameter aliran yang kedua-duanya tidak berdimensi.

Untuk grafik di bawah ini diambil untuk sungai dengan kedalaman cukup besar. Lihat tabel yang dipergunakan dalam pembuatan grafik.



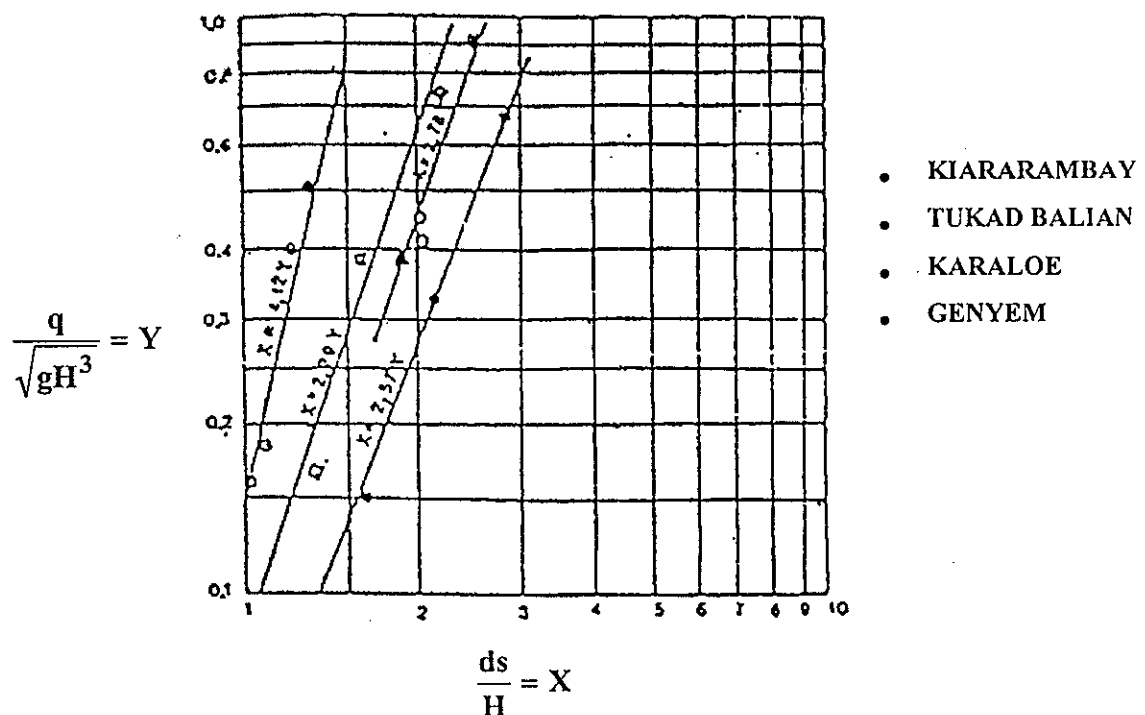
Gambar 2.8 : Grafik hubungan antara faktor dalamnya penggerusan dengan faktor aliran

Disini data yang digunakan untuk menganalisa didapat dari 6 bangunan air (5 data prototype dan 1 data model) dengan outlet atau peredam energi yang berlainan dan tidak disebut jenis / sifat tanah di hilir bangunan.

Tabel 2.1 : Data yang digunakan untuk head tinggi

Proyek	q	H	d _s	$q/(gH^3)^{1/2}$	d _s /H	d _s ⁽⁷⁾	d _s ⁽⁶⁾
Kukuan	75.8	85	28	0.0309	0.33	30.7	53.1
Tachien	113.6	180	43	0.0151	0.24	47.9	96.6
Wuchich	68.8	49	20	0.0642	0.41	25.0	44.8
Tinlung	40.0	34	20	0.0464	0.58	17.6	30.6
Honlung	25.0	31	31	0.0464	0.61	13.3	23.5
Shihmen	95.2	97	30	0.0318	0.31	34.9	62.2

Juga terlihat bahwa tinggi terjun H dari contoh bangunan-bangunan yang dipakai Prof. Wu cukup besar (spillway bendungan) sedangkan untuk bendung-bendung dengan H rendah seperti di Indonesia rumusnya akan lain lagi.



Gambar 2.9 : Grafik hubungan antara faktor dalamnya penggerusan dengan faktor aliran

Tabel 2.2 : Data yang digunakan untuk head rendah

Nama Proyek	Z (m)	q (m ³ /dt/m)	d (m)	d/z (m)	q/(gz)
1. Tukad Balian	3.83	15.93	8.17	2.13	0.67
	3.98	9.54	6.47	1.63	0.38
	4.52	4.78	5.47	1.21	0.16
2. Kiararambay	6.24	25.31	7.72	1.23	0.50
	4.70	12.89	5.05	1.07	0.40
	5.75	7.89	1.80	0.31	0.18
	6.22	3.95	0.78	0.13	0.08
3. Karaole	4.13	24	10.9	2.64	0.90
	4.2	16	8.7	2.06	0.587
	4.53	12	7.97	1.74	0.39
4. Genyem	4.53	14.12	10.37	2.44	0.68
	4.07	8.47	8.21	2.02	0.33
	4.39	4.24	6.85	1.56	0.15

Rumus-rumus Yang Lain

Menurut Schocklitsch :

$$d_s = \frac{3,15}{d_{10}^{0,32}} \cdot H^{0,2} \cdot q^{0,57} \quad (2.21)$$

dimana :

- d_s = dalam penggerusan (feet) dihitung dari permukaan air diatas tempat penggerusan sampai dasar penggerusan.
- d_{10} = diameter butir material dasar (dalam mm) dengan hanya 10% yang lebih kasar.
- H = tinggi terjun (dalam feet) beda muka air udik dan hilir
- q = debit per satuan lebar bangunan terjun dalam (cfs)

Rumus-rumus lain mengenai penggerusan dalam keadaan seimbang di hilir lantai berpintu yang diajukan oleh :

Menurut Eggenberger dan Muller ;

1. Untuk aliran melimpah diatas pintu bendung.

$$T = 22,8 H^{0,5} q^{0,6} D_{50}^{-0,40} \quad (2.22)$$

2. Untuk aliran mengalir dibawah pintu bendung.

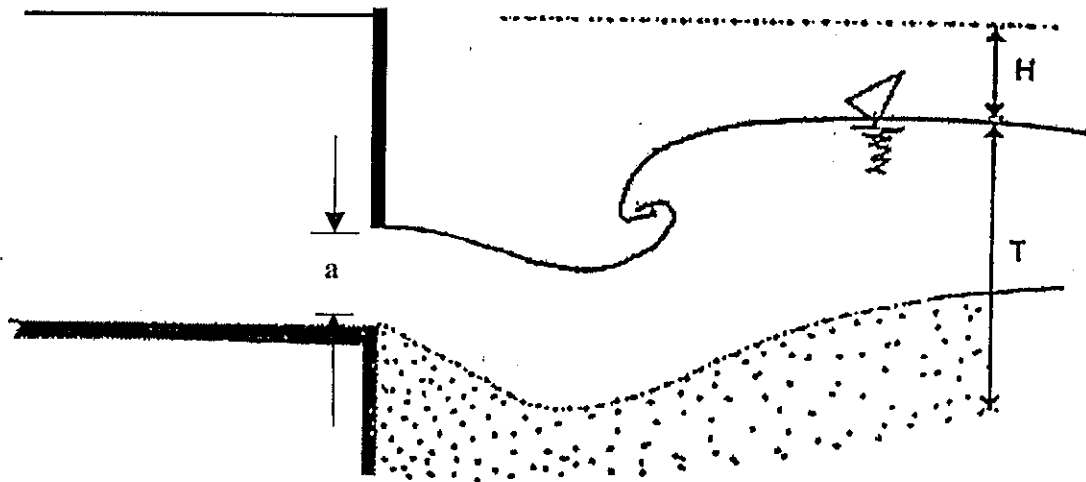
$$T = 10 H^{0,5} q^{0,6} D_{50}^{-0,40} \quad (2.23)$$

dimana :

T dan H dalam meter (m)

q dalam M^3/det

D_{50} dalam mm



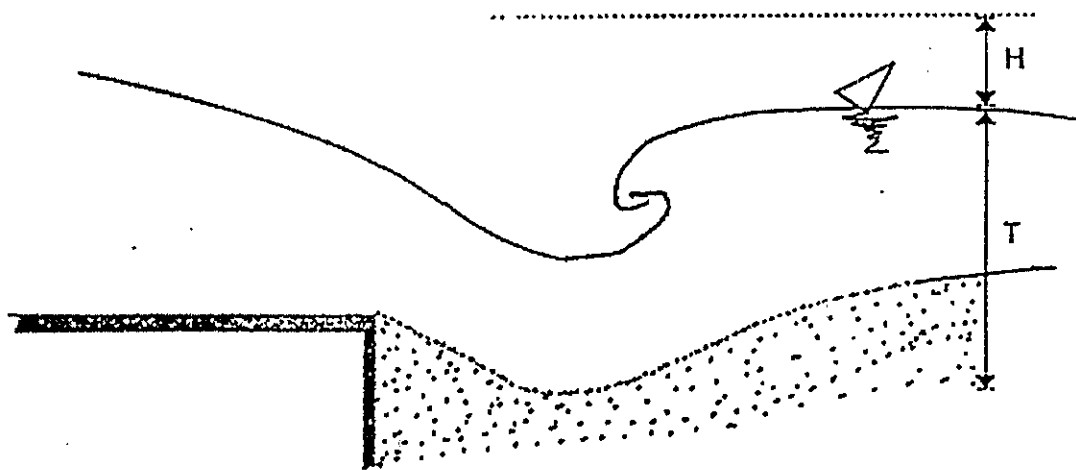
Gambar 2.10 : Gerusan menurut Eggenberger dan Muller

Dalam rumus-rumus tersebut dimasukkan faktor diameter butir. Pengaruh bukaan pintu tidak dimasukkan, padahal berdasarkan penyelidikan baik dengan model dilapangan (pada bendung Walahar, Pamarayan, Pasar Baru, Rentang, Langkong, Ludoyo, dsb). Menunjukkan bahwa pengaruh bukaan pintu (a) terhadap penggerusan cukup besar.

Menurut Kotaulas :

$$T = 1,95 H^{-0,25} H^{0,35} q^{0,7} D_{95}^{-0,4} \quad (2.24)$$

untuk keadaan



Gambar 2.11 : Gerusan menurut Kotaulas

Menurut T. Blench :

Penggerusan di sungai dengan dasar terdiri dari pasir halus.

- Penggerusan dekat jembatan

$$T = 2 d_1 \quad (2.25)$$

- Penggerusan diujung spurdikes dan tebing pengaruh

$$T = 2 : 2,75 d_1 \quad (2.26)$$

- Penggerusan untuk aliran tegak lurus tebing

$$T = 2,25 \cdot d_1 \quad (2.27)$$

- Penggerusan di hilir bendung gerak dengan loncatan air di lantai di stilling basin

$$T = 1,75 : 2,25 \cdot d_1 \quad (2.28)$$

dimana :

$$d_1 = 1,34 q^{2/3} f^{1/3}, \text{ (unit m)}$$

q = debit per satuan lebar, (m^2/det)

f = silt factor $1,76 D^{0,5}$ dan D dalam (mm)

Gerusan Lokal di Hilir Pintu Sorong

Kondisi yang paling mendekati untuk dipakai sebagai rujukan dalam mengamati gerusan lokal akibat aliran air pada bukaan pintu sorong adalah yang disajikan oleh Shen dkk (1969).

Kedalaman gerusan maksimum pada keadaan seimbang (equilibrium) h_m digambarkan

sebagai fungsi dari bilangan Froude $F_o = \frac{U_o}{\sqrt{g \cdot B_o}}$.

Hubungan tersebut adalah :

$$\frac{h_m}{B_o} = 0,775 \left[\frac{U_o}{(g B_o)^{1/2}} \right] \quad (2.29)$$

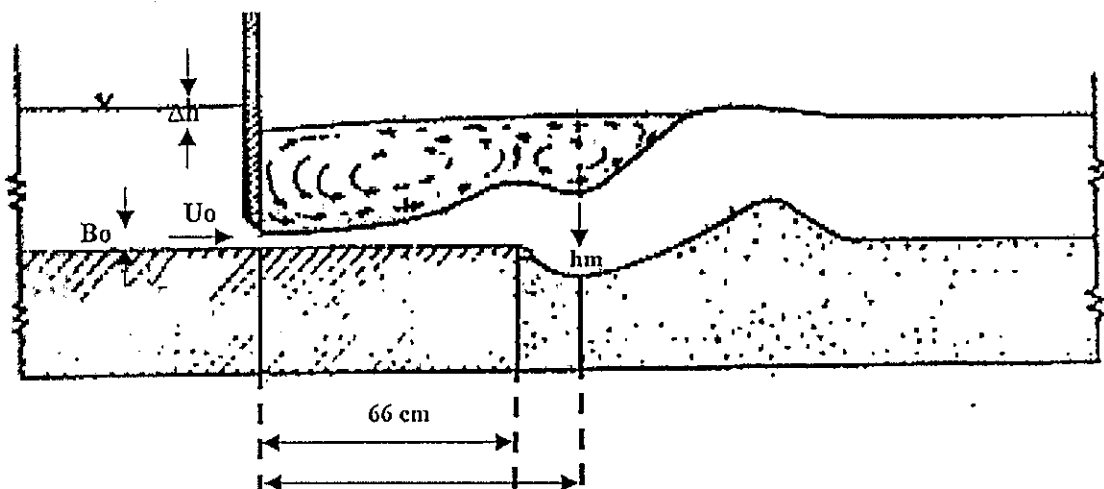
persamaan tersebut berlaku baik untuk dasar saluran berupa pasir maupun gravel, dimana :

h_m = Kedalaman gerusan maksimum pada keadaan equilibrium

B_o = Lebar bukaan pintu

U_o = Kecepatan aliran pancaran air

g = Percepatan gravitasi



Gambar 2.12 : Gerusan menurut Shen

2.6. Model Saluran

Pemahaman terhadap karakteristik hidraulik saluran dapat dilakukan dengan studi model. Permodelan terutama sekali mendukung dalam prediksi perubahan karakteristik saluran dengan adanya pemanfaatan atau penanganan suatu saluran.

Dalam permodelan ada dua macam studi model yaitu model matematis dan model fisik atau eksperimen.

Biasanya studi model dilakukan dengan salah satu jenis model yaitu matematis ataupun fisik. Namun demikian, adakalanya kedua model dapat dilengkapi dengan kelebihan pada model yang lainnya. Pada studi gerusan lokal di dasar saluran pada bukaan pintu ini dipakai model eksperimen.

Pada setiap studi model ada tiga hal pokok yaitu peniruan fenomena fisik prototipe, atau obyek yang dimodelkan ke dalam model, pengukuran pada model, interpretasi fenomena pada model untuk diextrapolasikan menjadi fenomena yang akan terjadi pada prototipe. Peniruan fenomena fisik pada prototipe dilakukan dengan penskalaan (scalling), fenomena yang akan diamati atau yang berpengaruh pada proses yang akan diamati.

Penskalaan berarti pengecilan ukuran fenomena prototipe menjadi fenomena model. Dengan penskalaan tersebut, pengamatan dan pengukuran setiap besaran dapat dilakukan dengan lebih mudah dan relatif cepat karena sifat model yang lebih terkendali dibanding prototipe.

Dalam studi model harus diperhatikan bahwa model harus menirukan prototipe dengan sebaik-baiknya. Satu kata bijak yang harus dipegang dalam permodelan adalah bahwa model bukanlah prototipe, oleh karena itu hasil yang diperoleh dari pengamatan yang didapat dari model memerlukan interpretasi yang hati-hati. Untuk itu, satu langkah penting yang lain adalah validasi model. Validasi model ini terdiri dari dua kegiatan yaitu kalibrasi dan verifikasi. Pada tahap ini dilakukan pengontrolan terhadap model untuk memberikan fenomena yang serupa/sebangun dengan yang ada di prototipe. Apabila kesesuaian belum dicapai, dilakukan perubahan dan penyesuaian pada model. Langkah ini disebut kalibrasi model. Setelah model dikalibrasi, satu langkah penting yang perlu dilakukan adalah verifikasi model. Verifikasi bertujuan untuk mengetahui perilaku model terhadap kondisi yang lain seperti kondisi yang digunakan untuk kalibrasi. Hal tersebut

diperlukan untuk mengetahui kepekaan model dan meneliti apakah penyimpangan yang mungkin terjadi masih dalam batas normal.

2.7. Model Fisik

Model fisik atau disebut juga model skala, dalam permasalahan teknik saluran memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan model matematis, yaitu model fisik dapat memberikan informasi yang lebih rinci dalam arah tiga dimensi. Kekurangan model fisik adalah dalam pemakaiannya lebih sulit dibanding model matematis.

Model fisik membutuhkan ruang dan peralatan yang lebih beragam. Pada langkah peniruan atau penskalaan prototipe, model fisis membutuhkan usaha yang lebih rumit. Keterkaitan antar fenomena fisik pada prototipe dengan skala yang saling terkait menjadikan penskalaan merupakan langkah yang sering kali sulit dan rumit.

Dalam model saluran dikenal dua jenis model, yaitu model dengan dasar permanen (fixed bed model) dan model dengan dasar saluran yang bergerak (mobil bed model). Model dengan dasar permanen dipakai untuk mempelajari fenomena yang berkaitan dengan aliran, sedang model saluran dengan dasar yang bergerak dipakai untuk mempelajari proses morfologi sungai. Tingkat kerumitan model yang kedua ini lebih tinggi serta perlu didukung dengan pengalaman yang luas. Pada studi ini dipakai model dasar permanen.

2.8. Besaran dan Skala

Penskalaan berarti pemindahan setiap besaran pada protipe menjadi besaran pada model dengan perbandingan tertentu.

Besaran-besaran dalam model sungai disusun dari tiga besaran dasar yaitu : massa [M], panjang [L] dan waktu [T]. Besaran-besaran tersebut antara lain :

- Kecepatan aliran [LT^{-1}]
- Debit [L^3T^{-1}]
- Volume [L^3]

- Koefisien kekasaran Chezy [$L^{1/2}T^{-1}$]
- Angka Reynold (tak berdimensi) dan
- Angka Froude (tak berdimensi)

Angka Reynold didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya inersia dan gaya kekentalan (viskositas), sedang angka Froude adalah akar perbandingan antara gaya inersia dan gaya gravitasi.

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya kekentalan}} = \frac{\rho \cdot u^2 \cdot h}{\mu \cdot u \cdot h} = \frac{u \cdot h}{\mu}$$

$$Fr = \sqrt{\frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya gravitasi}}} = \sqrt{\frac{\rho \cdot u^2 \cdot h}{\rho \cdot g \cdot h}} = \sqrt{\frac{u^2}{g \cdot h}} = \frac{u}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Dimana :

Re = angka Reynold

Fr = angka Froude

ρ = rapat massa fluida (air) [ML^{-3}]

μ = kekentalan kinematis fluida [$ML^{-1}T^{-1}$]

u = kecepatan aliran [LT^{-1}]

h = kedalaman aliran [L]

g = kecepatan gravitasi [L^2T^{-1}]

Skala model ditetapkan atau dihitung untuk setiap besaran. Skala n_x untuk suatu besaran didefinisikan sebagai berikut :

$$n_x = \frac{\text{nilai besaran x pada prototipe}}{\text{nilai besaran x pada model}} = \frac{x_p}{x_m}$$

Penetapan skala suatu besaran dilakukan dengan dua cara yaitu :

- Analisa dimensi
- Analisa matematis

Analisa dimensi dilakukan dengan cara pencarian hubungan antar besaran terhadap parameter yang ditinjau. Analisa ini diarahkan untuk mencari hubungan antara parameter yang ditinjau dengan besaran tak berdimensi Re atau Fr . Penetapan skala dengan cara uraian matematis dilakukan dengan pencarian hubungan matematis parameter yang ditinjau terhadap parameter-parameter lainnya. Umumnya, cara kedua lebih sering dipakai karena memberikan petunjuk mengenai efek skala yang terjadi. Efek skala yang terjadi apabila skala n_x tidak hanya tergantung pada atau merupakan fungsi dari skala-skala yang lain, yang juga berubah-ubah dalam model.. Dalam studi model efek skala sebaiknya dihindari. Karena pengaruh gravitasi sangat dominan dan pengaruh kekentalan diabaikan maka model ini memakai analisa dimensi.

Kesebangunan

Dalam penetapan skala, harus diperhatikan kesebangunan antara model dan prototipe. Kesebangunan dalam model fisik meliputi :

- Kesebangunan geometrik
- Kesebangunan kinematik
- Kesebangunan dinamik

Kesebangunan Geometrik

Kesebangunan geometrik, disebut juga kesebangunan bentuk, mensyaratkan bahwa model harus sebangun dengan bentuk prototipe. Hal ini berarti bahwa semua besaran linear pada model dan prototipe dihubungkan dengan suatu nilai konstanta.

$$n_L = \frac{L_p}{L_m}$$

Dimana :

n_L = skala panjang

L_p = panjang prototipe

L_m = panjang model

Skala besaran yang lain mengikuti hubungan diatas.

$$n_A = n_L \cdot n_h \quad (\text{skala luas})$$

$$n_V = n_L^2 \cdot n_h \quad (\text{skala volume})$$

Berkaitan dengan kesebangunan geometrik ini, dikenal dua jenis model yaitu model distorsi dan tak terdistorsi (distorted and undistorted model). Model terdistorsi adalah model dengan skala panjang dan skala tinggi tidak sama, sedang model tak terdistorsi skala panjang dan skala tinggi sama.

$$\text{Model terdistorsi} \quad : n_L \neq n_h$$

$$\text{Model tak terdistorsi} \quad : n_L = n_h$$

Kesebangunan Kinematik

Kesebangunan kinematik, disebut juga kesebangunan aliran, mensyaratkan bahwa pola aliran di model dan prototipe sebangun. Hal tersebut berarti bahwa kecuali sebangun geometrik, maka kecepatan aliran di model dan prototipe di titik-titik yang sama besarnya menurut nilai perbandingan tertentu.

$$n_t = \frac{t_p}{t_m} \quad (\text{skala waktu})$$

$$t_p = \text{waktu pada prototipe}$$

$$t_m = \text{waktu pada model}$$

$$n_u = \frac{L_p/t_p}{L_m/t_m} = \frac{L_p/L_p}{L_m/L_m} = n_L \cdot n_t^{-1} \quad (\text{skala kecepatan})$$

$$n_a = n_L \cdot n_t^{-2} \quad (\text{skala percepatan})$$

$$n_Q = n_L^3 \cdot n_t^{-1} \quad (\text{skala debit})$$

Kesebangunan Dinamik

Agar kesebangunan kinematik terpenuhi, maka gaya yang bekerja pada model harus sebanding dengan gaya yang bekerja pada prototipe. Hal tersebut hanya akan terpenuhi bila model memenuhi kesebangunan dinamik. Kesebangunan dinamik mensyaratkan bahwa perbandingan antara gaya di model prototipe mempunyai nilai yang konstan. Sebagai

ukuran gaya pada model dan prototipe biasanya dipakai suatu gaya imajiner yang disebut gaya inersia yang nilainya didapat berdasar persamaan berikut :

$$\text{Gaya inersia} : F = m \cdot a$$

$$F = \text{gaya inersia}$$

$$m = \text{massa}$$

$$a = \text{kecepatan}$$

$$MLT^{-2} = \rho L^3 LT^{-2} = \rho L^4 LT^{-2}$$

$$n_F = \frac{m_p \cdot a_p}{m_m \cdot a_m} = n_p \cdot n_L^4 \cdot n_T^{-2} \text{ (skala gaya inersia)}$$

2.9. Skala Model Saluran

Aliran dengan permukaan bebas terutama dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya gesekan akibat kekentalan fluida. Kedua pengaruh ini digambarkan pada nilai dua besaran tak berdimensi, angka Froude dan angka Reynold. Pengaruh gesekan dominan pada aliran dalam pipa, sedang pengaruh gaya gravitasi dominan pada aliran di saluran.

Pengaruh gesekan dan gaya gravitasi dijumpai pada aliran melalui bangunan saluran. Dalam studi model, kedua hal tersebut perlu diperhatikan dalam penetapan skala. Pengaruh gesekan yang dominan mensyaratkan bahwa nilai angka Reynold di model dan prototipe sama, atau $n_{Re} = 1$, sedang pengaruh gaya gravitasi dominan, sehingga skala didasarkan pada syarat $n_{Fr} = 1$.

$$n_{Fr} = 1$$

$$[Fr]_m = [Fr]_p$$

$$\left[\frac{u}{\sqrt{gh}} \right]_m = \left[\frac{u}{\sqrt{gh}} \right]_p$$

$$\frac{u_m}{u_p} = \sqrt{\frac{g_m \cdot h_m}{g_p \cdot h_p}}$$

$$n_u = n_g^{1/2} \cdot n_h^{1/2}$$

$$\text{karena } n_g = 1 \text{ maka } n_u = n_h^{1/2}$$

Skala waktu diturunkan berdasar skala kecepatan diatas.

$$n_u = n_L \cdot n_t^{1/2}$$

$$n_h^{1/2} = n_L \cdot n_t^{-1} \Rightarrow n_t = n_L \cdot n_h^{1/2}$$

Untuk model tak terdistorsi maka $n_t = n_L^{1/2}$

Skala besaran-besaran lainnya ditetapkan dengan cara yang sama. Skala besaran-besaran yang lain yang penting disajikan di bawah :

Skala model untuk berbagai besaran dalam model tak terdistorsi.

Tabel 2.3 : Skala model tak terdistorsi

No	Skala Besaran	Notasi	Dimensi	Skala
1	Panjang/Lebar	n_L	L	n_L
2	Kedalaman	n_h	L	n_L
3	Kecepatan	n_u	LT^{-1}	$n_L^{1/2}$
4	Waktu	n_t	T	$n_L^{1/2}$
5	Debit	n_Q	L^3T^{-1}	$n_L^{5/2}$
6	Kekasaran Chezy	n_c		1
7	Kekasaran Manning	n_m	-	$n_h^{1/5}$

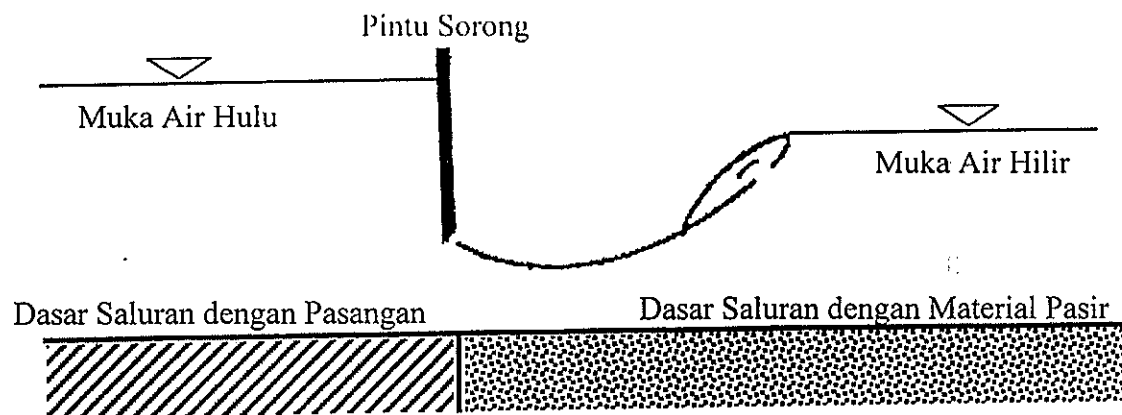
BAB III

METODOLOGI, ASUMSI DAN PROSEDUR

3.1. Umum

Untuk meneliti bagaimana pola yang terjadi pada gerusan lokal di dasar saluran bila pintu air dibuka, digunakan metode eksperimen. Pada eksperimen (percobaan) ini dipersiapkan suatu model saluran yang diberi konstruksi pintu sorong. Model menyesuaikan dengan tempat dan sarana yang tersedia, yaitu berupa saluran dan konstruksi pintu sorong yang diperkirakan dapat mewakili keadaan pada umumnya atau setidaknya merupakan salah satu contoh keadaan yang ada.

Saluran untuk model dibuat dengan penampang saluran segi empat. Konstruksi pintu sorong terbuat dari baja. Lebar pintu dibuat persis sama dengan lebar saluran, sehingga pada pengamatan dapat diasumsikan sebagai aliran dengan dua dimensi. Pada saluran dimana pintu ditempatkan, dinding saluran dibuat dengan kaca, sehingga aliran air dan gerusan dapat diamati dari bagian samping. Didasar saluran bagian hilir pintu, diberi material yang mudah tergerus yaitu pasir dengan gradasi tertentu. Pintu dibuka sesuai dengan aliran yang dikehendaki agar pengamatan dapat dilaksanakan dengan teliti.



Gambar 3.1 : Aliran lewat pintu sorong

Dengan mengamati melalui model tersebut, yang dilaksanakan berulang dan teliti sesuai dengan metode pengamatan, maka diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pola gerusan dasar saluran di hilir pintu sorong dengan jelas.

3.2. Instalasi Sistim Pengaliran

Penelitian direncanakan dalam suatu ruang laboratorium yang berada di Balai Sungai Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Air Departemen Perumahan Dan Prasarana Wilayah di Kartasura, Solo. Pada ruang ini selain untuk menempatkan ruas saluran (flum), juga dipakai untuk penempatan perlengkapan penunjang yang lain seperti kolam tandon atas, kolam distribusi, kolam penenang, kolam penampung sedimen dan sebagainya. Untuk model saluran terbuka dibuat dengan bagian ruas saluran yang lurus, dimana dapat menghindari terjadinya aliran yang tidak seragam. Di ruas saluran tersebut dipasang pintu sorong, dimana pola gerusan pada dasar saluran akibat bukaan pintu tersebut diamati. Sistim aliran untuk mengoperasikan model hidraulik ini dibuat dengan sistim sirkulasi tertutup agar pengamatan dapat dilakukan secara kontinyu tanpa kehilangan banyak air.

Dalam pelaksanaan pengaliran pada model dilakukan dengan mengalirkan air dari kolam tando atas ke model secara gravitasi. Prosedur pengaliran secara detail adalah sebagai berikut (lihat gambar instalasi sistim pengaliran, lampiran A) :

1. Air dalam kolam tando bawah (KTB) dipompa ke kolam tando atas (KTA), sementara itu kran K1 maupun K2 ditutup.
2. Setelah kolam tando atas penuh dan meluap, kran K (mana yang dibutuhkan) dibuka secara perlahan-lahan agar elevasi muka air pada kolam tando atas stabil, sementara pintu sorong PS1 maupun PS2 ditutup.
3. Setelah kolam distribusi (KDT) penuh dan meluap melalui peluap PL, kemudian pintu sorong PS (mana yang dibutuhkan) dibuka perlahan-lahan agar elevasi muka air pada kolam distribusi stabil. Air mengalir melalui saringan penenang SP menuju ke bangunan ukur dan lempah melewati pisau ukur PU.
4. Pembukaan pintu sorong PS disesuaikan dengan besar kecilnya debit pengaliran yang diperlukan pada model, dengan cara memantau melalui jarum duga (point gauge) yang telah dipasang sebelumnya di hulu pisau ukur PU.
5. Khusus untuk model ini, bersamaan dengan mengalirnya air dari alat pengukur debit ke model, dialirkan pula air dari hilir model sedemikian agar sedimen yang telah ditata tidak rusak terkena aliran pada saat debit aliran belum mencapai sebesar yang dibutuhkan.

6. Air yang telah melewati model melalui saluran kembali (bawah tanah) akhirnya kembali ke kolam tando bawah (KTB).

Sebelum pengaliran dimulai beberapa hal yang perlu disiapkan antara lain adalah :

1. Volume air dalam kolam tando bawah dipastikan cukup untuk pengaliran, bila dirasa kurang, bisa ditambah dari sumur pemasok.
2. Peralatan jarum duga di hulu pisau ukur sudah diatur sesuai debit yang diperlukan.
3. Peralatan lainnya disiapkan dan dipastikan dalam keadaan baik serta sudah ditera ulang.
4. Model yang akan dialiri sudah disiapkan.
5. Personel yang mengoperasikan siap ditempat.

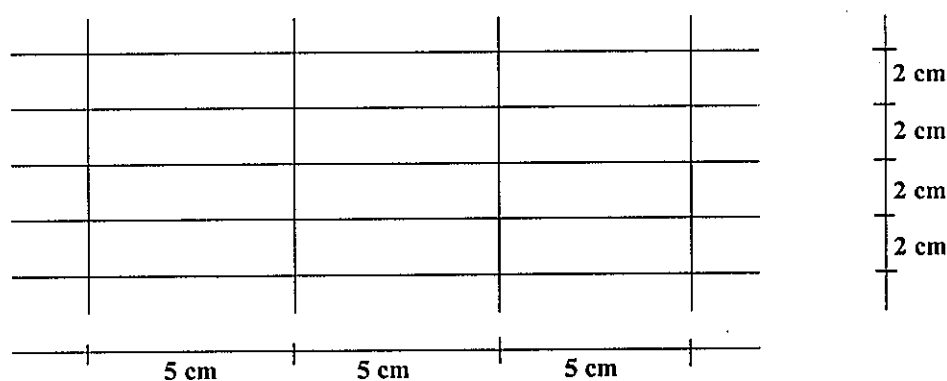
3.3. Flum Untuk Pengamatan

Panjang saluran segi empat (flum) secara keseluruhan 25,00 m, dimulai dari bak penenang sampai kolam penampung sedimen (lihat gambar model penelitian, lampiran B). Pintu sorong yang terbuat dari baja berada sejauh 10,50 m dari awal saluran atau bak penenang dan berjarak 14,50 m dari bagian ujung akhir saluran. Lebar flum dibuat 0,50 m, mengingat kapasitas maksimum pompa untuk mengoperasikan sirkulasi air sebesar 50 liter per detik. Dinding flum terbuat dari pasangan batu bata yang diplester, kecuali pada salah satu sisi sepanjang 2,60 m dimulai dari 0,60 m hulu pintu sorong sampai 2,60 m ke bagian hilirnya menggunakan dinding dari kaca bening tebal 10 mm.

Dasar flum dibuat horizontal dari pasangan batu bata yang diplester, mulai dari awal saluran sampai pada pintu sorong. Setelah pintu sorong, pasangan dasar flum dibuat turun 0,25 m sampai sepanjang 3,00 m kearah hilir, kemudian naik lagi 0,25 m sehingga dasar flum segaris horizontal dengan dasar bagian depan. Bagian dasar yang turun sepanjang 3 m tersebut akan diisi dengan material yang mudah tergerus, yaitu pasir, sampai rata dengan dasar pasangan di bagian hulu. Bagian akhir flum dasarnya dibuat lebih rendah sehingga merupakan kantong pasir yang berfungsi menangkap pasir yang terbawa oleh aliran air akibat gerusan yang terjadi di hilir pintu sorong.

Di bagian flum tempat pengamatan, dimana terletak pintu sorong dan dasar saluran dengan material pasir, dibuat dari dinding kaca yang tembus pandang. Dengan dinding kaca tersebut maka aliran yang keluar dari bukaan pintu dapat dilihat dan proses terjadinya

gerusan dapat diamati. Agar proses pengamatan menjadi mudah dilaksanakan dan teliti, maka pada dinding kaca diberi garis-garis horizontal dengan jarak 2 cm dan garis-garis vertikal dengan jarak 5 cm. Untuk mengamati perubahan-perubahan yang terjadi pada aliran maupun untuk memantau perubahan yang terjadi pada dasar saluran akibat gerusan, dapat dibaca melalui garis-garis pada kaca pengamatan tersebut.



Gambar 3.2 : Garis-garis pada kaca pengamatan

3.4. Peralatan dan Bahan Percobaan

3.4.1. Peralatan

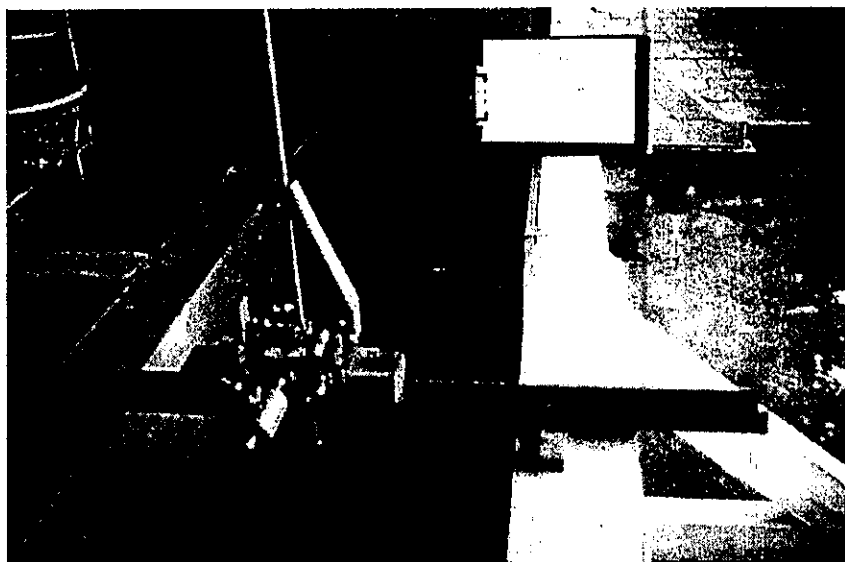
Alat-alat yang digunakan untuk menunjang pelaksanaan penelitian sehingga setiap running berjalan dengan baik adalah sebagai berikut :

1. Pompa Air

Pompa air digerakkan dengan tenaga diesel yang mempunyai kapasitas debit aliran sampai 50 l/det. Dengan kapasitas debit aliran yang tersedia ini di harapkan pembuatan model aliran yang dikehendaki dapat terlayani. Demikian juga sirkulasi air dalam sistim tertutup dapat berjalan, sehingga pemakaian air tidak terlalu banyak.

2. Point Gauge

Point gauge / jarum duga digunakan untuk mengukur kedudukan muka air. Dengan alat ini kedalaman / tinggi air di tempat-tempat yang diperlukan dapat dipantau. Alat ini dilengkapi dengan skala nonius, sehingga pengukuran dapat mencapai ketelitian sampai 0,1 mm. Jarum duga ditempatkan di hulu alat ukur Thomson untuk mengetahui ketinggian muka air diatas pisau ukur. Kecuali itu juga ditempatkan di hulu dan hilir pintu sorong yang diamati untuk memantau ketinggian muka air ditempat tersebut.



Gambar 3.3 : Point gauge

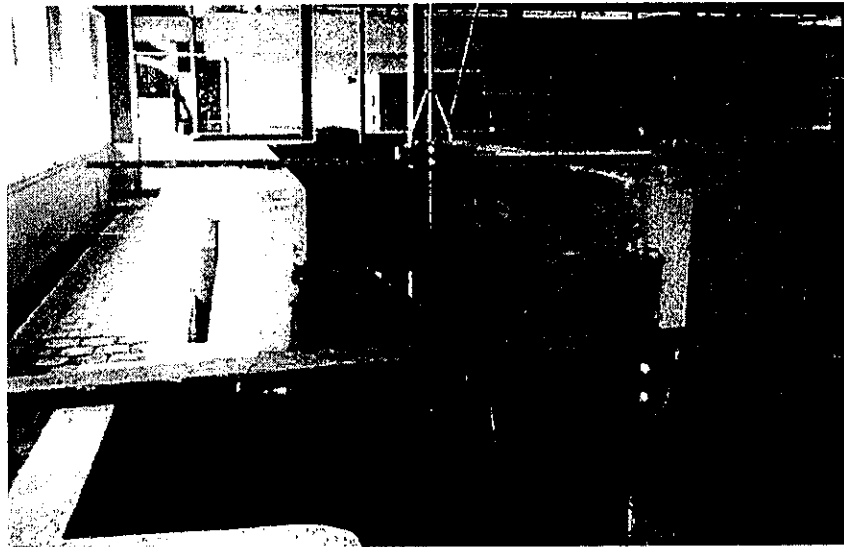
3. Water Pass

Pesawat water pass ini digunakan untuk menentukan kedudukan jarum duga (point gauge), sehingga elevasi atau ketinggian muka air dimana jarum duga tersebut dipasang, benar-benar akurat. Apabila terjadi pergeseran atau pemindahan letak jarum duga harus dicek lagi dengan water pass. Pesawat water pass juga digunakan untuk menentukan semua ketinggian di tempat-tempat sepanjang saluran (flum) yang dipakai untuk percobaan.

4. Alat Ukur Debit Thomson.

Alat ukur debit Thomson, berupa peluap ambang tajam berbentuk segi tiga siku-siku, digunakan untuk mengatur debit aliran pada model. Alat ukur ini ditempatkan di

sebelah hulu flum, sebelum aliran masuk ke kolam penenang. Debit aliran yang memasuki flum diatur dengan pintu sorong pengatur debit. Kemudian besarnya debit dapat diketahui dari pengukuran tinggi peluapan diatas ambang tajam berbentuk segitiga dari alat ukur debit Thomson. Formula alat ini adalah. $Q = 1,40 h^{3/2}$. Dimana Q adalah debit aliran dan h adalah tinggi luapan air diatas ambang.



Gambar 3.4 : Alat ukur debit Thomson

5. Kamera Video.

Kamera video digunakan untuk mengabadikan obyek pengamatan yang merupakan gambar bergerak. Kejadian yang merupakan proses terjadinya gerusan pada dasar saluran akibat aliran air, dapat dilihat ulang dari gambar video ini. Gambar yang dihasilkan dapat memperjelas dan memberikan keyakinan atas data-data yang dihasilkan.

6. Kamera Foto.

Kamera foto digunakan untuk mendapatkan gambar dari obyek penelitian maupun peralatan yang digunakan, yang sifatnya merupakan gambar mati. Gambar ini dapat digunakan untuk memperjelas atau memberi keterangan yang perlu dicantumkan pada laporan.

3.4.2. Bahan Percobaan

Sebagai bahan percobaan dalam penelitian ini, dimana dianggap mewakili dasar saluran yang mudah tergerus adalah pasir. Pasir yang digunakan adalah pasir yang bersih dan diayak menggunakan saringan ukuran 6,0 x 6,0 mm dan 2,0 x 2,0 mm. Sehingga yang diharapkan diameter butiran pasir untuk penelitian antara 6,0 mm dan 2,0 mm. Namun karena proses pengerjaan, butiran yang lebih kecil sebagian masih ikut terbawa. Sampel pasir hasil ayakan tersebut dites di laboratorium dan komposisi butirannya seperti tercantum pada lengkung gradasi (lihat lampiran C). Pasir ini dihamparkan di dasar saluran sebelah hilir pintu sorong (pintu percobaan) pada tempat yang telah dipersiapkan setebal 25 cm. Dari bahan inilah nantinya diamati pola gerusan yang terjadi akibat aliran air yang keluar dari pintu sorong.

3.5. Pelaksanaan Penelitian

3.5.1. Persiapan

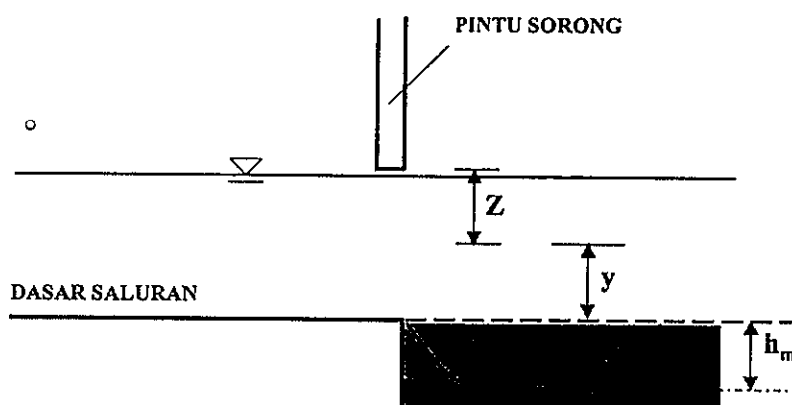
Setelah segala sesuatu yang menyangkut perlengkapan dan peralatan dipersiapkan, pelaksanaan, percobaan dapat dimulai. Beberapa personal yang dipersiapkan untuk membantu pelaksanaan, bertugas antara lain :

- Mengoperasikan pompa air.
- Membuka dan menutup kran pemasok air.
- Mengoperasikan pintu sorong untuk memperoleh debit aliran ke flum sesuai yang direncanakan.
- Mengamati jarum duga di hulu pisau ukur Thomson.
- Mengamati jarum duga di hulu pintu percobaan.
- Mengamati jarum duga di hilir pintu percobaan.
- Membaca dan mencatat pola gerusan yang terjadi.
- Mencatat waktu selama percobaan berlangsung.
- Mengambil gambar dengan kamera video.
- Mengambil gambar dengan kamera foto.

Sebelum pelaksanaan percobaan yang pokok dijalankan (running), terlebih dahulu diadakan kalibrasi peralatan yang dipakai. Terutama untuk menentukan ketinggian muka air sesuai dengan debit aliran yang direncanakan. Dalam hal ini penting artinya, karena untuk membaca besarnya debit pada penelitian disini tergantung dari ketelitian pembacaan elevasi air pada pisau ukur Thomson. Kemudian pada debit yang telah ditetapkan tersebut, dicatat dan diberi tanda ketinggian bukaan pintu sorong yang mengatur catu aliran agar debit yang mengalir sesuai yang direncanakan. Bukaan pintu ini akan diulang pada percobaan pokok agar pelaksanaan menjadi mudah dan lancar.

3.5.2. Pelaksanaan Percobaan

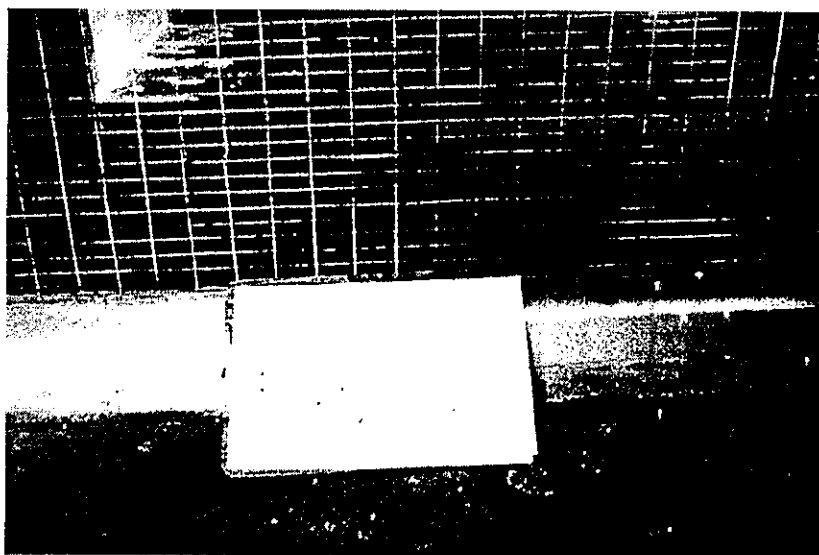
Debit aliran yang dipakai untuk pengamatan pada percobaan adalah sebesar 20 liter per detik, 15 liter per detik dan 10 liter per detik. Pada debit 20 liter per detik, diamati pola gerusannya pada posisi bukaan pintu turun 2 cm, 4 cm dan 6 cm dari posisi bukaan pintu penuh. Yang dimaksud bukaan pintu penuh adalah bukaan pintu dimana ujung bawah pintu menyentuh muka air pada keadaan aliran tanpa hambatan akibat adanya pintu.



Gambar 3.5 : Bukaan pintu sorong

Demikian juga untuk debit 15 liter per detik dan debit aliran 10 liter per detik, gerusan diamati pada posisi pintu turun 2 cm, 4 cm, dan 6 cm dari posisi bukaan pintu penuh.

Setiap debit aliran dengan posisi bukaan pintu tertentu merupakan satu seri pengamatan/percobaan. Sehingga disini ada 9 seri percobaan. Tetapi karena pada saat pintu turun 2 cm untuk ketiga keadaan debit tersebut belum terjadi gerusan, maka jumlah seri percobaan yang dapat ditampilkan adalah 6 seri percobaan. Setiap seri percobaan dicatat pola gerusannya pada selang waktu yang dianggap dapat mewakili kejadian/pola gerusan yang terbentuk. Setelah gerusan mencapai keadaan seimbang (equilibrium) maka pengamatan dihentikan.



Gambar 3.6 : Proses terjadinya gerusan lokal

Pada pengamatan setiap debit aliran atau 2 seri percobaan diakhiri dengan pembuatan kontur hasil gerusan. Untuk proses ini, setelah gerusan mencapai keadaan equilibrium, aliran dihentikan dengan mematikan pompa dan membuang air. Air pada flum dibuang melalui lubang pembuang yang telah dipersiapkan, sehingga muka air turun secara bertahap. Setiap kedudukan muka air dan dasar saluran membentuk garis kontur. Kemudian garis ini diperjelas dengan menggunakan benang putih yang telah diberi label ketinggian garis kontur tersebut. Sehingga setelah air semuanya keluar, maka terbentuklah pola gerusan yang telah diberi garis kontur.

3.6. Pencatatan Data

Untuk pencatatan data pada dasarnya dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu sebelum dan selama percobaan (running) dijalankan.

Data-data yang dicatat sebelum percobaan, meliputi :

- Besarnya debit yang akan dialirkan.
- Penurunan pintu percobaan dari posisi bukaan penuh.
- Elevasi jarum duga (point gauge) dihilu pisau ukur Thomson sesuai debit yang direncanakan.
- Tinggi bukaan pintu untuk catu aliran sesuai debit yang direncanakan.

Data-data yang dicatat selama percobaan berlangsung , antara lain :

- Elevasi jarum duga disebelah hulu pintu percobaan.
- Elevasi jarum duga disebelah hilir pintu percobaan.
- Kedalaman gerusan terhadap elevasi dasar normal (sebelum tergerus) dan jaraknya terhadap pintu percobaan dari titik-titik yang berada pada garis gerusan yang terjadi.
- Waktu saat pintu diturunkan dari posisi bukaan penuh.
- Waktu kejadian terbentuknya garis gerusan dihitung dari awal percobaan (saat pintu diturunkan).

Pengambilan gambar video dilaksanakan pada momen penting, pada waktu proses gerusan local terjadi. Demikian juga pemotretan dilakukan untuk menngabadikan momen penting yang mungkin dapat dimasukkan pada laporan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data

4.1.1. Data dari Pelaksanaan Percobaan dengan Debit 20 Liter per detik

Dari pelaksanaan percobaan dengan debit 20 liter per detik didapatkan data hubungan antara bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal dibagian hilir dari pintu sorong tersebut. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 : Hubungan bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal, pengaliran dengan debit 20 liter/detik

No pengaliran	Debit Q (liter/det)	Kondisi pintu sorong Z (cm)	Tinggi bukaan pintu y (cm)	Waktu mencapai keadaan seimbang W (menit)	Kedalaman gerusan maksimum h_m (cm)	Kondisi material dasar saluran
1	20	0	9,93	-	-	belum bergerak
	20	2	7,93	-	-	belum bergerak
	20	3,4	6,53	-	-	hampir bergerak
	20	4	5,93	38	8,9	terangkut
2	20	6	3,93	36	8,8	terangkut

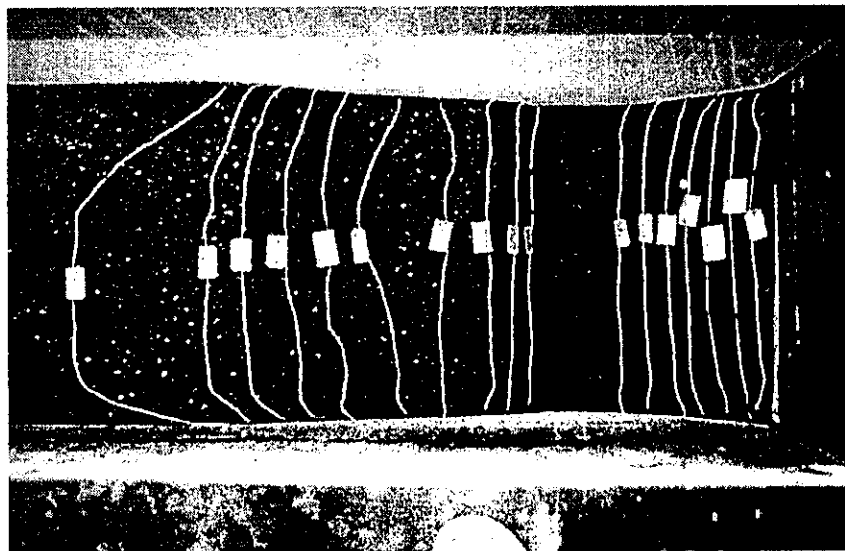
Data keadaan aliran pada saat pintu sorong dioperasikan sesuai dengan bukaan yang direncanakan , hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 : Keadaan aliran pada pengoperasian pintu sorong, pengaliran dengan debit 20 liter/detik

No pengaliran	Debit Q (liter/det)	Tinggi bukaan pintu y (cm)	Kedalaman air		Selisih muka air hulu dan hilir pintu H (cm)	Kecepatan aliran rata2 dibawah pintu sorong V (cm/detik)
			Hulu pintu (cm)	Hilir pintu (cm)		
1	20	9,93	9,93	7,77	2,16	40,28
	20	7,93	10,35	7,93	2,56	50,44
	20	6,53	10,85	7,79	3,06	55,17
	20	5,93	13,70	7,76	5,94	67,45
2	20	3,93	18,40	7,78	10,62	101,78

Kecepatan aliran rata-rata dibawah pintu sorong dihitung dari debit aliran dibagi dengan luas bukaan pintu.

Hasil pembuatan garis kontur pada pola gerusan yang terjadi setelah gerusan mencapai keadaan equilibrium, dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1 : Garis kontur gerusan akibat debit 20 liter per detik

Data yang didapat dari pengamatan pola gerusan saat proses gerusan berlangsung maupun setelah mencapai keadaan equilibrium, dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4 berikut. Pengambilan data saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 15 menit, 25 menit, 38 menit untuk penurunan pintu 4 cm dan pengambilan data saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 36 menit untuk penurunan pintu 6 cm.

Tabel 4.3 : Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 20$ l/detik, $z = 4$ cm $Q = 20$ l/det $z = 4$ cm

$T = 5'$		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	2.5	-2.2
3	5	-4
4	6	-6
5	12	-8
6	15	-9.5
7	17.5	-10.5
8	20	-11.25
9	22.5	-11
10	25	-10.7
11	27.5	-10
12	30	-8
13	31.7	-6
14	40	-3.6
15	42.5	-2
16	45	0.5
17	47.5	2
18	50	3.5
19	52.5	4
20	55	3.5
21	56.5	2.2
22	60	2
23	65	2.5
24	68	2
25	71	1.5
26	72	0.5
27	73	0

 $T = 10'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2
2	2.5	-4
3	5	-5.7
4	10	-8.7
5	15	-11.7
6	20	-14.5
7	22.5	-15.5
8	25	-15.6
9	27.5	-15.3
10	31.7	-14
11	37.5	-11.8
12	42.5	-9.4
13	47.5	-6
14	51.5	-2
15	53.5	0
16	56	2
17	57.5	3
18	60	3.8
19	65	3.8
20	70	3.8
21	75	3.7
22	85	3.5
23	100	3
24	105	2.5
25	107	1.3
26	109	0

 $T = 15'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.2
2	2.5	-4.2
3	5	-6.2
4	10	-10
5	15	-13.2
6	17.5	-14.6
7	20	-15.5
8	22.5	-16.4
9	25	-17
10	27.5	-16.8
11	30	-16.5
12	35	-14.3
13	40	-12.2
14	45	-9.7
15	50	-6.4
16	55	-2.2
17	57.5	-0.8
18	60	0
19	65	0.8
20	70	1.3
21	75	2.5
22	80	2.5
23	90	2.5
24	100	2
25	110	2
26	125	2

 $T = 25'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.2
2	2.5	-4.2
3	5	-6.2
4	10	-10.2
5	15	-14.7
6	17.5	-15.3
7	20	-16.5
8	22.5	-17.2
9	25	-17.7
10	27.5	-17.6
11	30	-17.4
12	32.5	-16.8
13	33.75	-14.3
14	42.5	-12.5
15	45	-12
16	47.5	-11.5
17	50	-11
18	52.5	-10
19	55	-8.6
20	57.5	-6.7
21	60	-5
22	70	-2.7
23	80	-1
24	85	0
25	90	0.75
26	95	1.2
27	100	1.5
28	110	1.6
29	125	1.6

 $T = 38'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.2
2	2.5	-4.2
3	5	-6.2
4	10	-10.2
5	15	-14.7
6	17.5	-15.3
7	20	-16.5
8	22.5	-17.2
9	25	-17.7
10	27.5	-17.5
11	30	-16
12	35	-14.3
13	37.5	-13.8
14	40	-13.8
15	45	-13.5
16	47.5	-13.5
17	50	-13.2
18	52.5	-13
19	55	-12.3
20	57.5	-11.4
21	60	-10
22	65	-8
23	75	-5
24	85	-1.5
25	90	-0.2
26	95	1
27	100	1.5
28	120	1.6
29	125	1.6

Tabel 4.4 : Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 20$ l/detik, $z = 6$ cm $Q = 20$ l/det $Z = 6$ cm

T = 5'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-3
2	5	-7.5
3	10	-11.4
4	15	-14
5	17.5	-14.7
6	20	-15.1
7	22.5	-15.2
8	25	-15
9	27.5	-14.3
10	32.5	-11.8
11	37.5	-8.8
12	40	-7.2
13	45	-2.5
14	47.5	0
15	50	1.5
16	52.5	3
17	55	4
18	57.5	5
19	60	5.9
20	62.5	6
21	65	5.5
22	70	4.7
23	75	3.7
24	80	3.6
25	85	3
26	87.5	1.3
27	90	0.4
28	92.5	0

T = 10'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-4
2	5	-9.5
3	10	-14
4	12.5	-16
5	15	-17.5
6	16.2	-17.5
7	17.5	-16.5
8	19	-16
9	20	-15.8
10	22.5	-15.6
11	25	-15.5
12	27.5	-15
13	32.5	-13.8
14	35	-13
15	37.5	-12
16	40	-10.5
17	50	-4
18	55	0
19	60	2.9
20	65	4
21	70	4.2
22	75	4.5
23	85	3.9
24	95	3.2
25	100	3.1
26	105	2.8
27	110	1.5
28	117.5	1
29	121	0

T = 15'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-4.5
2	5	-11.2
3	7.5	-14
4	10	-16
5	11	-16.8
6	15	-16.2
7	17.5	-15.3
8	20	-14.6
9	25	-14.6
10	27.5	-14.5
11	32.5	-14.4
12	35	-14
13	40	-12.7
14	42.5	-12
15	45	-10.8
16	50	-7.8
17	55	-4.8
18	60	-0.5
19	65	2
20	67.5	2.6
21	70	3
22	80	2.8
23	90	2.8
24	100	2
25	110	2
26	120	2
27	125	2

T = 20'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-6.5
2	2.5	-10
3	5	-11.3
4	6	-13.5
5	10	-12.6
6	12.5	-11.5
7	15	-11.5
8	20	-11.7
9	25	-11.7
10	30	-11.6
11	35	-11
12	37.5	-10.3
13	40	-9
14	45	-6
15	50	-2
16	52.5	0
17	55	1.5
18	57.5	3
19	60	4
20	62.5	4.5
21	65	4.5
22	70	4
23	75	3.7
24	80	3.5
25	90	3
26	100	2.5
27	110	1.8
28	120	1.8
29	125	1.8

T = 36'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-7.5
2	2.5	-6.5
3	3.7	-6.2
4	5	-6.6
5	10	-10.6
6	15	-13.6
7	17.5	-15.2
8	20	-16.6
9	22.5	-17
10	25	-16.6
11	27.5	-15.6
12	30	-14.7
13	36	-11.6
14	40	-8
15	45	-4
16	47.5	-2.4
17	48.2	-2.2
18	50	-2.8
19	52.5	-4
20	55	-4.8
21	57.5	-4.6
22	60	-4.2
23	65	-3
24	75	0.4
25	80	1.5
26	85	2
27	100	2
28	110	2
29	120	2
30	125	2

4.1.2. Data dari Pelaksanaan Percobaan dengan Debit 15 Liter per detik

Dari pelaksanaan percobaan dengan debit 15 liter per detik didapatkan data hubungan antara bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal dibagian hilir dari pintu sorong tersebut. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 : Hubungan bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal, pengaliran dengan debit 15 liter/detik

No pengaliran	Debit Q (liter/det)	Kondisi pintu sorong Z (cm)	Tinggi bukaan pintu y (cm)	Waktu mencapai keadaan seimbang W (menit)	Kedalaman gerusan maksimum h _m (cm)	Kondisi material dasar saluran
3	15	0	8,71	-	-	belum bergerak
	15	2	6,71	-	-	belum bergerak
	15	2,5	6,21	-	-	hampir bergerak
	15	4	4,71	34	9,8	terangkut
4	15	6	2,71	42	6,4	terangkut

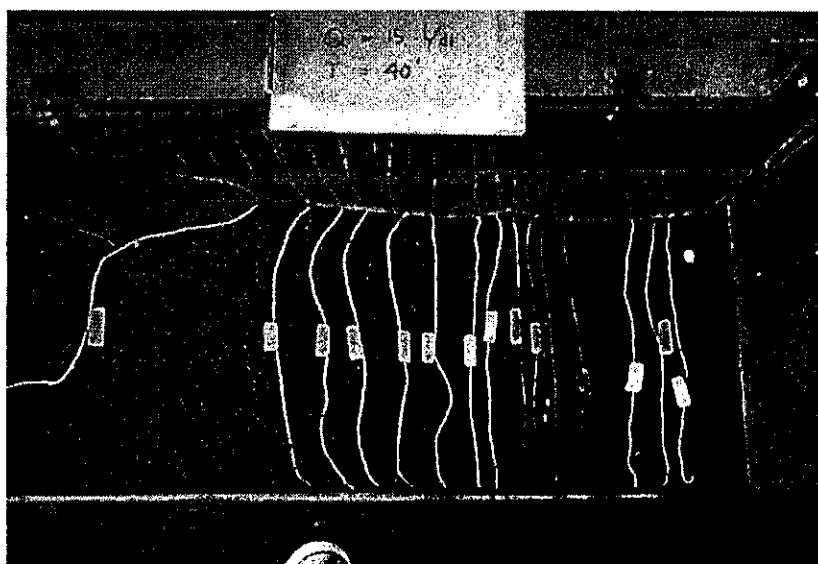
Data keadaan aliran pada saat pintu sorong dioperasikan sesuai dengan bukaan yang direncanakan , hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 : Keadaan aliran pada pengoperasian pintu sorong pengaliran dengan debit 15 liter/detik

No pengaliran	Debit Q (liter/det)	Tinggi bukaan pintu y (cm)	Kedalaman air		Selisih muka air hulu dan hilir pintu H (cm)	Kecepatan aliran rata2 dibawah pintu sorong V (cm/detik)
			Hulu pintu (cm)	Hilir pintu (cm)		
3	15	8,71	8,71	6,97	1,74	34,44
	15	6,71	9,05	6,96	2,09	44,71
	15	6,21	9,58	6,95	2,63	48,31
	15	4,71	12,20	6,94	5,26	63,69
4	15	2,71	17,86	6,95	10,91	110,70

Kecepatan aliran rata-rata dibawah pintu sorong dihitung dari debit aliran dibagi dengan luas bukaan pintu.

Hasil pembuatan garis kontur pada pola gerusan yang terjadi setelah gerusan mencapai keadaan equilibrium, dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini :



Gambar 4.2 : Garis kontur gerusan akibat debit 15 liter per detik

Data yang didapat dari pengamatan pola gerusan saat proses gerusan berlangsung maupun setelah mencapai keadaan equilibrium, dapat dilihat pada tabel 4.7 dan 4.8 berikut. Pengambilan data saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 20 menit, 35 menit, untuk penurunan pintu 4 cm dan pengambilan data saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 15 menit, 25 menit untuk penurunan pintu 6 cm.

UPT-PUSTAK-UNDIP

Tabel 4.7 : Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 15$ l/detik, $z = 4$ cm

$Q = 15$ l/det $Z = 4$ cm		
$T = 5'$		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	5	-4.5
3	7.5	-6
4	10	-7.5
5	15	-10
6	17.5	-10.5
7	20	-10.5
8	22.5	-9.7
9	30	-5.7
10	35	-2.5
11	37.5	-1
12	40	0.2
13	42.5	0.6
14	45	0.5
15	47.5	-0.2
16	50	-0.3
17	52.5	0.2
18	60	0.2
19	65	0

$T = 10'$		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2
2	5	-6
3	10	-9.5
4	15	-12.6
5	17.5	-14
6	20	-14.6
7	22.5	-14.7
8	25	-15
9	27.5	-14.7
10	32.5	-13.5
11	37.5	-11.4
12	42.5	-8
13	47.5	-3.4
14	50	-1.5
15	52.5	0
16	55	1
17	60	1
18	80	0.5
19	87.5	0

$T = 20'$		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.5
2	5	-7
3	10	-10.5
4	15	-14
5	20	-16.4
6	22.5	-17.2
7	25	-17.5
8	27.5	-17.4
9	30	-16.8
10	32.5	-16.2
11	35	-15.4
12	40	-12.5
13	45	-10.6
14	50	-7.2
15	55	-3.5
16	57.5	-1.4
17	60	-0.5
18	65	0.3
19	67.5	1
20	70	1.5
21	75	1.6
22	85	1.4
23	90	1.2
24	95	1.1
25	100	1
26	105	0.2

$T = 35'$		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-4
2	5	-8
3	10	-12
4	15	-15.3
5	17.52	-16.8
6	20	-18.3
7	22.5	-19.2
8	25	-19.4
9	27.5	-19.1
10	30	-18.6
11	35	-17
12	40	-14.6
13	45	-12
14	50	-9
15	55	-5.5
16	57.5	-3.7
17	60	-2.7
18	65	-2.1
19	67.5	-1.8
20	70	-1
21	72.5	0
22	75	1
23	80	1.5
24	85	1.8
25	95	1.7
26	105	1.5
27	115	1.2
28	135	0

Tabel 4.8 : Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 15$ l/detik, $z = 6$ cm

$Q = 15$ l/det $Z = 6$ cm
 $T=5'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.5
2	5	-6.6
3	10	-10
4	15	-13.5
5	20	-15
6	25	-14.1
7	30	-11.5
8	35	-8.3
9	40	-2.5
10	42.5	1
11	45	2.7
12	47.5	3.6
13	50	3.5
14	55	3.5
15	60	3.5
16	65	3.4
17	75	3.5
18	85	3.5
19	90	3
20	92.5	0

$T=10'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-4
2	5	-8
3	10	-12.5
4	15	-15.7
5	20	-18.2
6	22.5	-18
7	25	-17.5
8	30	-15.4
9	35	-12.7
10	40	-9.3
11	45	-4.7
12	50	0.4
13	52.5	2
14	55	2.5
15	60	2.6
16	70	2.8
17	90	3
18	100	2.5
19	120	2
20	125	0

$T=15'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-4.7
2	5	-9.3
3	10	-14
4	15	-17.5
5	18.5	-18.8
6	20	-18
7	22.5	-16
8	25	-15
9	30	-14.5
10	35	-14.6
11	37.5	-14.5
12	40	-14
13	45	-12
14	50	-8.8
15	55	-4.5
16	60	0
17	65	1.8
18	67.5	2.5
19	70	3
20	80	2.8
21	100	3
22	110	2.9
23	125	3

$T=25'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-5
2	5	-10.2
3	10	-15.4
4	12.5	-17
5	15	-16.5
6	17.5	-15.5
7	20	-14.1
8	30	-14.5
9	35	-15
10	40	-14.5
11	45	-13
12	50	-10
13	55	-6.5
14	60	-2
15	65	0
16	70	1.5
17	80	2
18	100	2
19	115	2
20	125	2

4.1.3. Data dari Pelaksanaan Percobaan dengan Debit 10 Liter per Detik

Dari pelaksanaan percobaan dengan debit 10 liter per detik didapatkan data hubungan antara bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal dibagian hilir dari pintu sorong tersebut. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 : Hubungan bukaan pintu sorong dan terjadinya gerusan lokal, pengaliran dengan debit 10 liter/detik.

No pengaliran	Debit Q (liter/det)	Kondisi pintu sorong Z (cm)	Tinggi bukaan pintu y (cm)	Waktu mencapai keadaan seimbang W (menit)	Kedalaman gerusan maksimum h_m (cm)	Kondisi material dasar saluran
5	10	0	7,09	-	-	belum bergerak
	10	2	6,89	-	-	belum bergerak
	10	2,2	4,89	-	-	hampir bergerak
	10	4	3,09	32	5,2	terangkut
6	10	6	1,09	38	4,7	terangkut

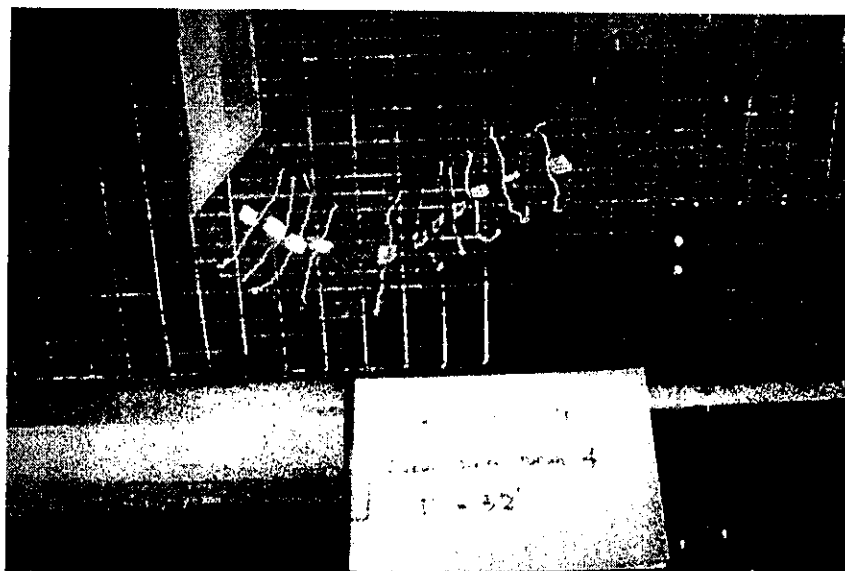
Data keadaan aliran pada saat pintu sorong dioperasikan sesuai dengan bukaan yang direncanakan , hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 : Keadaan aliran pada pengoperasian pintu sorong, pengaliran dengan debit 10 liter/detik.

No pengaliran	Debit Q (liter/det)	Tinggi bukaan pintu y (cm)	Kedalaman air		Selisih muka air hulu dan hilir pintu H (cm)	Kecepatan aliran rata2 dibawah pintu sorong V (cm/detik)
			Hulu pintu (cm)	Hilir pintu (cm)		
5	10	7,09	7,09	5,80	1,29	28,21
	10	6,89	7,27	5,78	1,49	39,29
	10	4,89	9,58	5,77	3,81	40,90
	10	3,09	10,97	5,79	5,18	64,72
6	10	1,09	21,46	5,80	15,66	183,48

Kecepatan aliran rata-rata dibawah pintu sorong dihitung dari debit aliran dibagi dengan luas bukaan pintu.

Hasil pembuatan garis kontur pada pola gerusan yang terjadi setelah gerusan mencapai keadaan equilibrium, dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3 : Garis kontur gerusan akibat debit 10 liter per detik

Data yang didapat dari pengamatan pola gerusan saat proses gerusan berlangsung maupun setelah mencapai keadaan equilibrium, dapat dilihat pada tabel 4.11 dan 4.12 berikut. Pengambilan data saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 20 menit, 32 menit, untuk penurunan pintu 4 cm dan pengambilan data saat gerusan telah berlangsung 2 menit, 5 menit, 10 menit, 20 menit, 38 menit untuk penurunan pintu 6 cm.

Tabel 4.11 : Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 10$ l/detik, $z = 4$ cm $Q = 10$ l/det $Z = 4$ cm $T=5'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-0.2
2	5	-2.5
3	7.5	-3.4
4	10	-4
5	12.5	-3.6
6	15	-2.8
7	20	0
8	25	2.3
9	27.5	3.5
10	30	3.6
11	32.5	3.1
12	35	3
13	40	3
14	45	2.8
15	47.5	1.5
16	50	0

 $T=10'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-1
2	5	-4.2
3	10	-6.8
4	12.5	-7.6
5	15	-7.6
6	17.5	-6.5
7	20	-4.8
8	25	-1.3
9	27.5	0.4
10	30	1.5
11	32.5	2.3
12	35	2.5
13	40	2.5
14	50	2.5
15	60	2.5
16	70	2.5
17	75	2.3
18	77.5	2
19	80	0

 $T=20'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.2
2	5	-5.2
3	10	-8.2
4	15	-10.2
5	20	-9.5
6	25	-8
7	30	-5.5
8	35	-2.6
9	40	0.8
10	42.5	1.8
11	45	2
12	60	2
13	75	1.9
14	80	1.8
15	100	1.9
16	102.5	1.8
17	105	0.8
18	107.5	0

 $T=32'$

TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.6
2	5	-5.5
3	10	-8.6
4	15	-10.5
5	17.5	-10.2
6	20	-9.9
7	25	-8.5
8	30	-6
9	35	-3.3
10	40	0
11	42.5	1.3
12	45	1.7
13	60	1.8
14	70	1.8
15	80	1.9
16	100	1.5
17	110	1.5
18	125	1.4

Tabel 4.12 : Data gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 10$ l/detik, $z = 6$ cm $Q = 10$ l/det $Z = 6$ cm

T=2'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	0
2	2.5	-2
3	5	-3.4
4	7.5	-4.8
5	10	-5.2
6	12.5	-5.6
7	15	-6
8	17.5	-5
9	20	-4
10	25	-0.7
11	27.5	1.5
12	30	3.7
13	32.5	4.2
14	35	4.1
15	40	4.2
16	42.5	4.2
17	45	4
18	47.5	3
19	50	0

T=5'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-1.5
2	2.5	-3
3	5	-5
4	7.5	-6
5	10	-5.2
6	14.5	-4.2
7	15	-4.2
8	20	-4.2
9	22.5	-4.1
10	25	-3.5
11	30	-0.5
12	32.5	1
13	35	2.2
14	37.5	3.8
15	50	3.9
16	60	3.8
17	65	3.7
18	70	0

T=10'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-1.6
2	2.5	-4.2
3	5	-4.8
4	7.5	-4.2
5	10	-4.3
6	15	-4.5
7	20	-4.2
8	25	-2
9	30	1
10	32.5	2.8
11	35	3
12	40	3
13	50	3
14	60	3
15	70	2.8
16	80	3
17	84	2.7
18	87.5	0

T=20'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-3.8
2	2.5	-6
3	5	-7
4	10	-7
5	15	-6.5
6	20	-6.8
7	22.5	-7.2
8	25	-7
9	27.5	-5.5
10	30	-4
11	35	0
12	37.5	1.5
13	40	2.2
14	50	2.2
15	60	2.1
16	80	2.2
17	100	2.2
18	110	2.1
19	117.5	2
20	119	0

T=38'		
TTK	X (cm)	Y (cm)
1	0	-2.2
2	2.5	-4.8
3	5	-6.5
4	7.5	-8
5	10	-8.8
6	15	-9.2
7	17.5	-9
8	20	-8.6
9	25	-5.5
10	30	-2.5
11	32.5	-0.7
12	35	-0.2
13	37.5	-0.6
14	40	-2
15	42.5	-3.2
16	45	-3.8
17	47.5	-3
18	50	-1.5
19	52.5	0
20	55	1.2
21	60	1.8
22	80	1.9
23	100	1.9
24	125	2

4.2. Pembahasan

4.2.1. Gerusan Lokal Untuk Debit 20 Liter per Detik

Pada saat debit sebesar 20 liter per detik dialirkan, aliran pada flum pengamatan cukup tenang, kedalaman air pada pintu sorong 9,93 cm, kecepatan aliran 40,28 cm/det.

Dengan demikian bilangan Froude $Fr = \frac{40,28}{\sqrt{980 \cdot 9,93}} = 0,408 < 1$, artinya aliran pada kondisi

sub kritis sehingga sesuai dengan model yang direncanakan. Pada kedalaman air tersebut ujung bawah pintu diposisikan menyentuh muka air (pintu pada posisi bukaan penuh). Kondisi material dasar saluran belum bergerak. Sesuai rencana, pintu sorong diturunkan 2 cm dari posisi awal. Ternyata material dasar saluran belum bergerak (tergerus). Kemudian pintu sorong diturunkan lagi secara perlahan untuk menuju posisi turun 4 cm dari posisi awal. Saat pintu sorong sampai pada posisi 3,4 cm, material dasar saluran hampir / mulai bergerak dan pintu terus diturunkan sampai posisi turun 4 cm dari posisi awal. Pada bukaan pintu ini gerusan lokal terus berlangsung. Pola gerusan yang terjadi dicatat pada saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 15 menit, 25 menit, 30 menit, dan 38 menit. Setelah gerusan berlangsung selama 38 menit, ternyata gerusan mencapai keadaan seimbang (equilibrium) dan gerusan berhenti.

Pengaliran (running) berikutnya adalah masih dengan debit 20 liter per detik, tetapi pintu pada posisi turun 6 cm dari posisi bukaan penuh (posisi awal). Pola gerusan yang terjadi dicatat pada saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 36 menit. Setelah gerusan berlangsung 36 menit, mencapai keadaan seimbang dan gerusan berhenti.

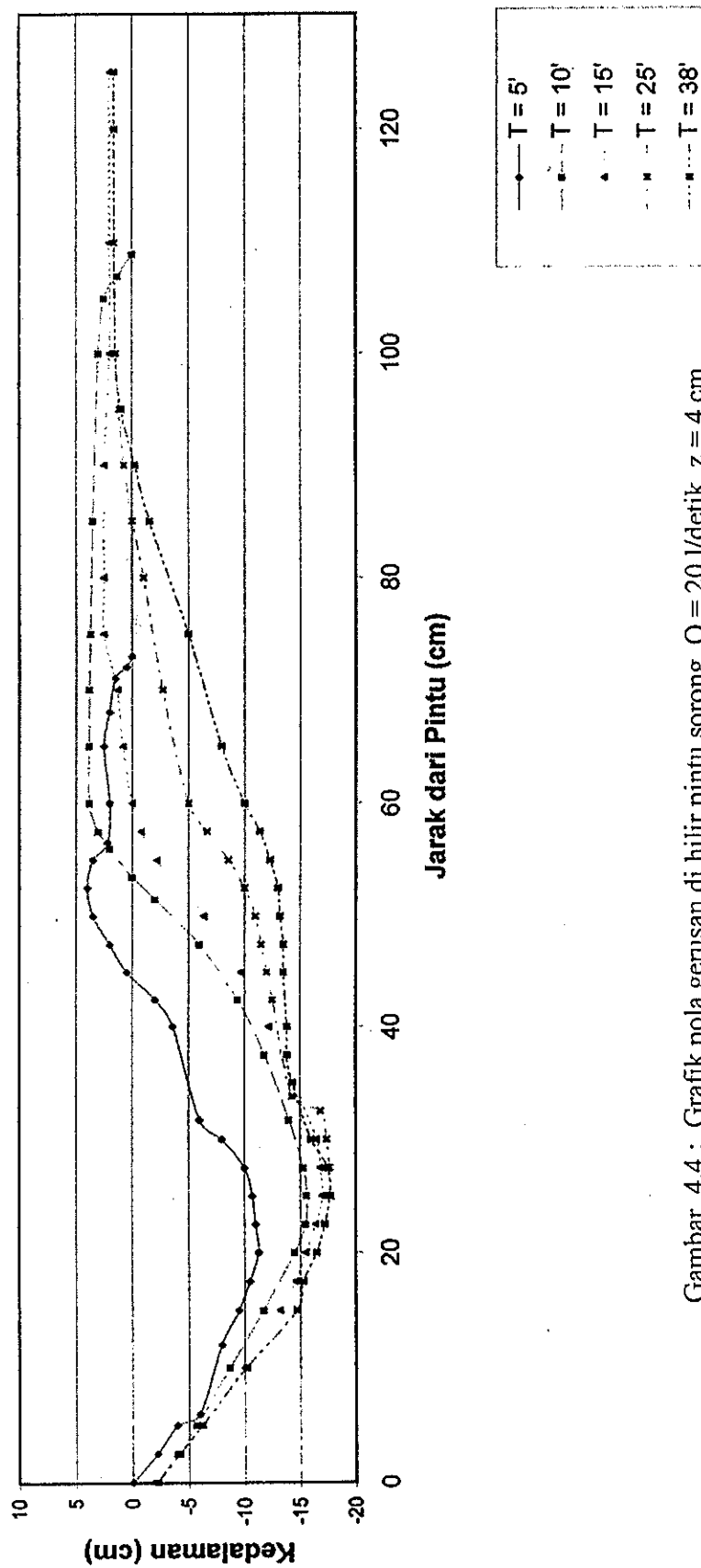
Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa gerusan tidak langsung terjadi saat pintu mulai diturunkan, tetapi baru terjadi gerusan setelah pintu turun 3,4 cm. Lama proses gerusan sampai mencapai keadaan seimbang berkisar antara 35 sampai 40 menit.

Dari hasil pembuatan kontur pada pola gerusan yang terjadi (lihat gambar 4.1) dapat diasumsikan bahwa model yang diteliti merupakan model dua dimensi karena garis-garis yang terbentuk hampir sejajar dan tegak lurus arah aliran.

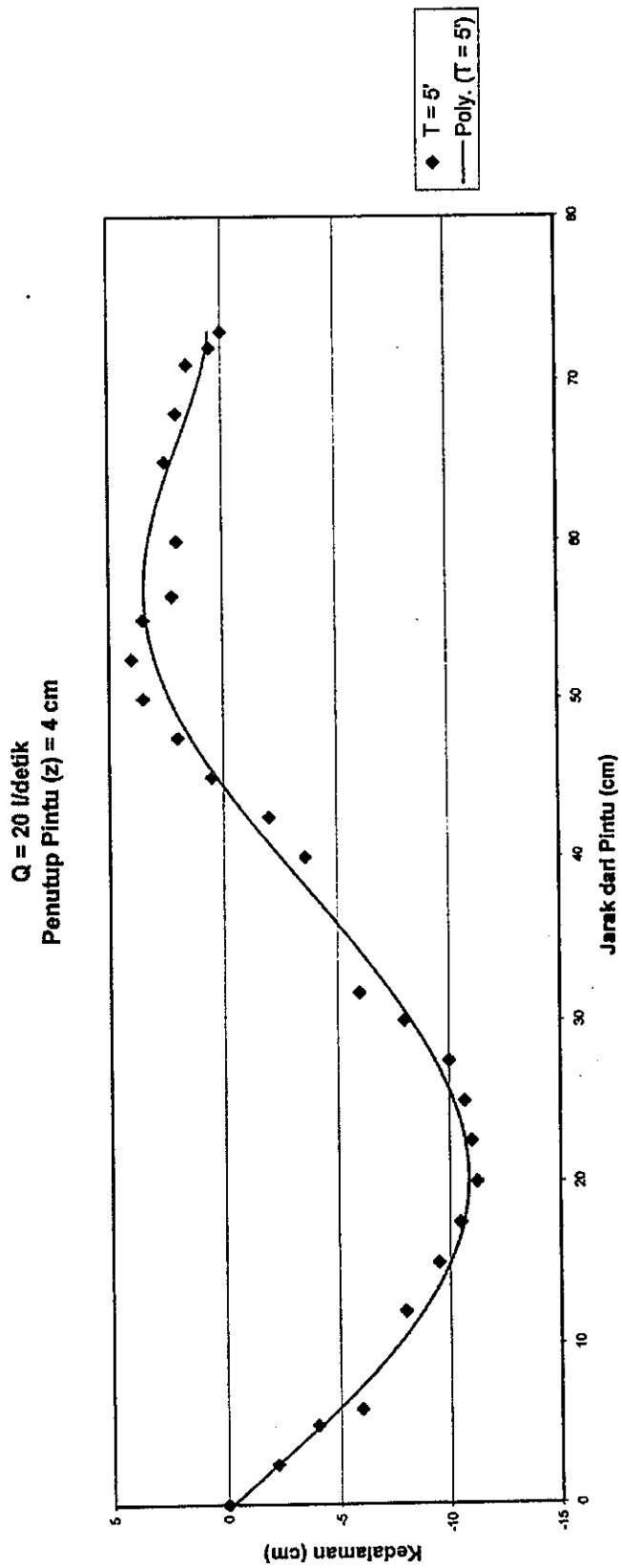
Data yang didapat dari pengamatan pola gerusan saat gerusan berlangsung maupun setelah mencapai keadaan equilibrium dianalisa dan dibuat grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong. Gambar 4.4 untuk penurunan pintu 4 cm dan gambar 4.10 untuk penurunan pintu 6 cm.

Dari grafik tersebut dengan bantuan program komputer dibuat kurva yang menggambarkan pola gerusan lokal di hilir pintu sorong. Kurva yang dihasilkan merupakan kurva polynomial pangkat enam. Gambar 4.5 sampai 4.9 untuk penurunan pintu 4 cm dan gambar 4.11 sampai 4.15 untuk penurunan pintu 6 cm.

$Q = 20$ l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm

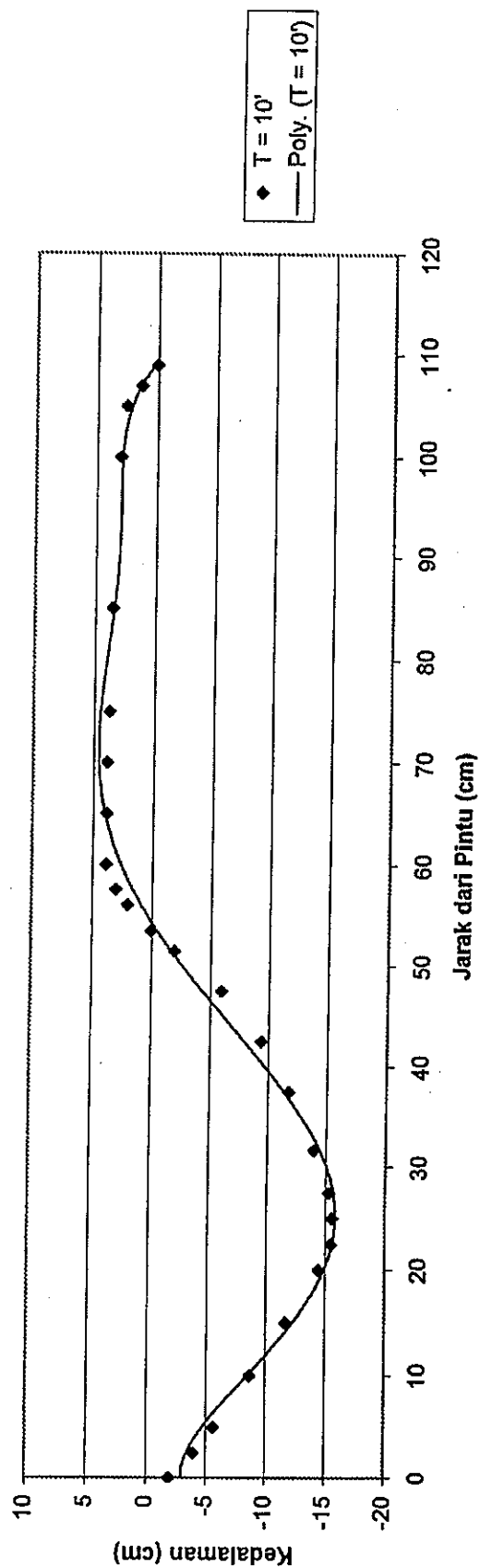


Gambar 4.4 : Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20$ l/detik, $z = 4$ cm



Gambar 4.5 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 4 cm, T = 5'

Q = 20 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm



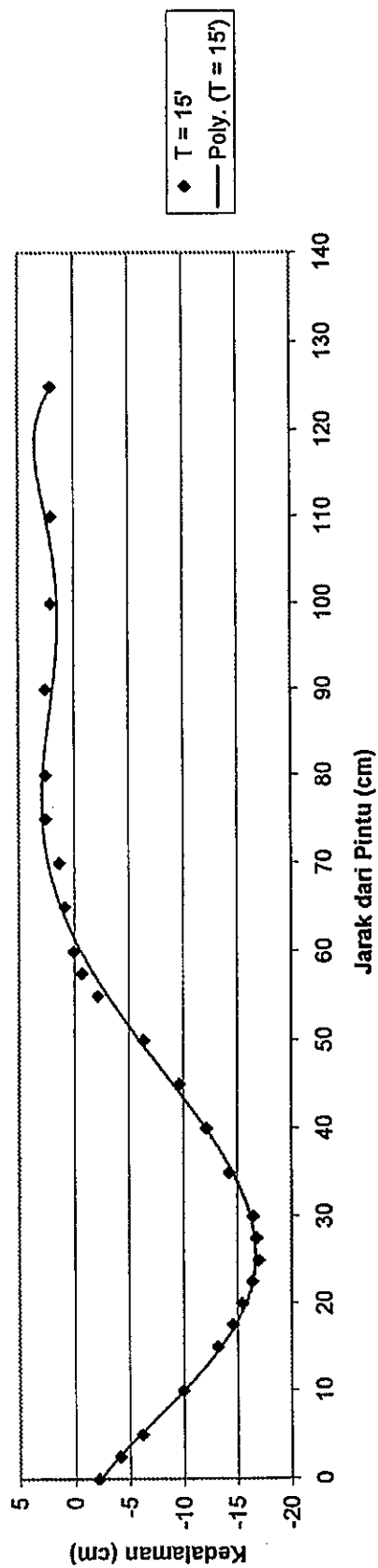
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -2E-09x^6 + 7E-07x^5 - 9E-05x^4 + 0.0049x^3 - 0.0993x^2 + 0.028x - 2.9434$$

$$R^2 = 0.9893$$

Gambar 4.6 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 4 cm, T = 10'

Q = 20 l/detik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



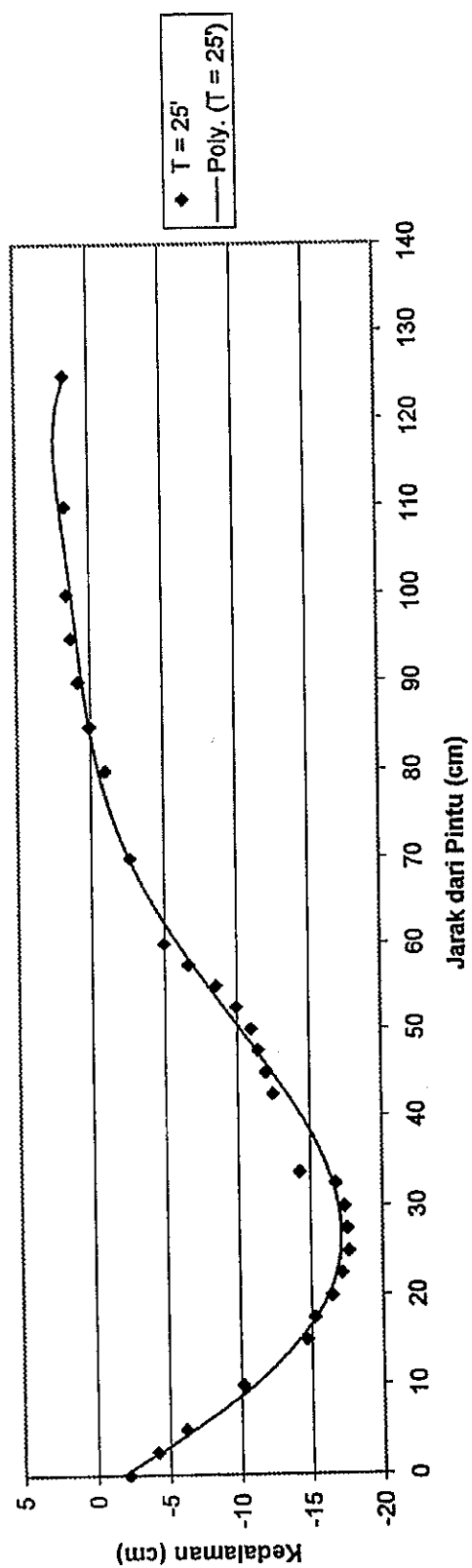
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -9E-10x^6 + 3E-07x^5 - 4E-05x^4 + 0.0025x^3 - 0.0378x^2 - 0.5962x - 2.3463$$

$$R^2 = 0.9959$$

Gambar 4.7 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 4 cm, T = 15'

Q = 20 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm



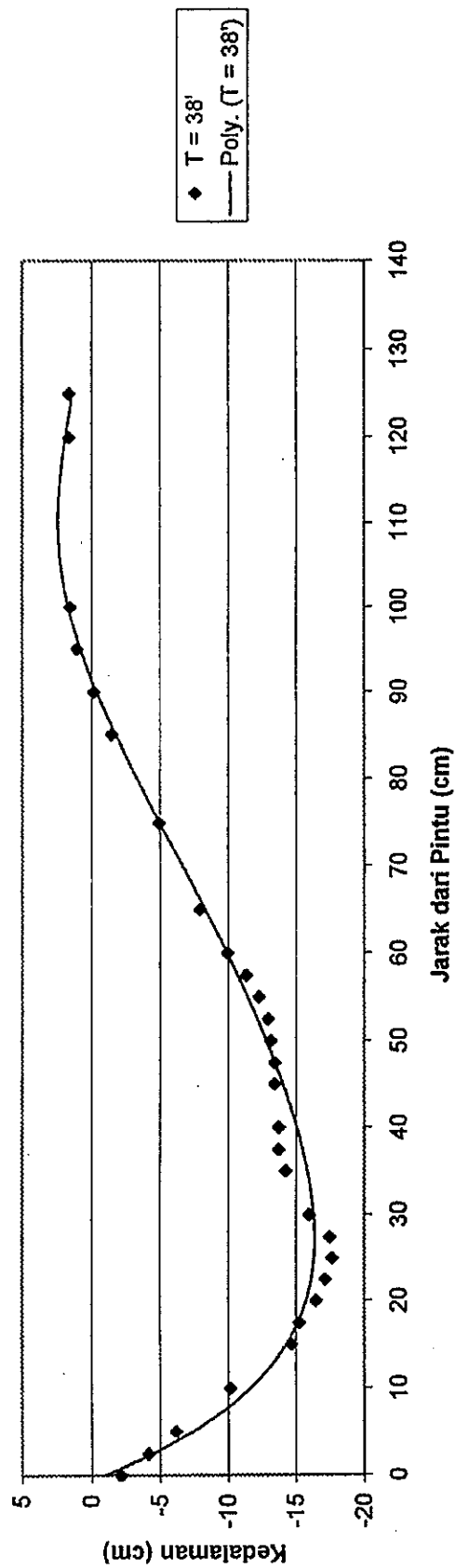
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -3E-10x^6 + 1E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0.0007x^3 + 0.0085x^2 - 1.0783x - 1.6647$$

$$R^2 = 0.9918$$

Gambar 4.8 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 4 cm, T = 25'

Q = 20 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm



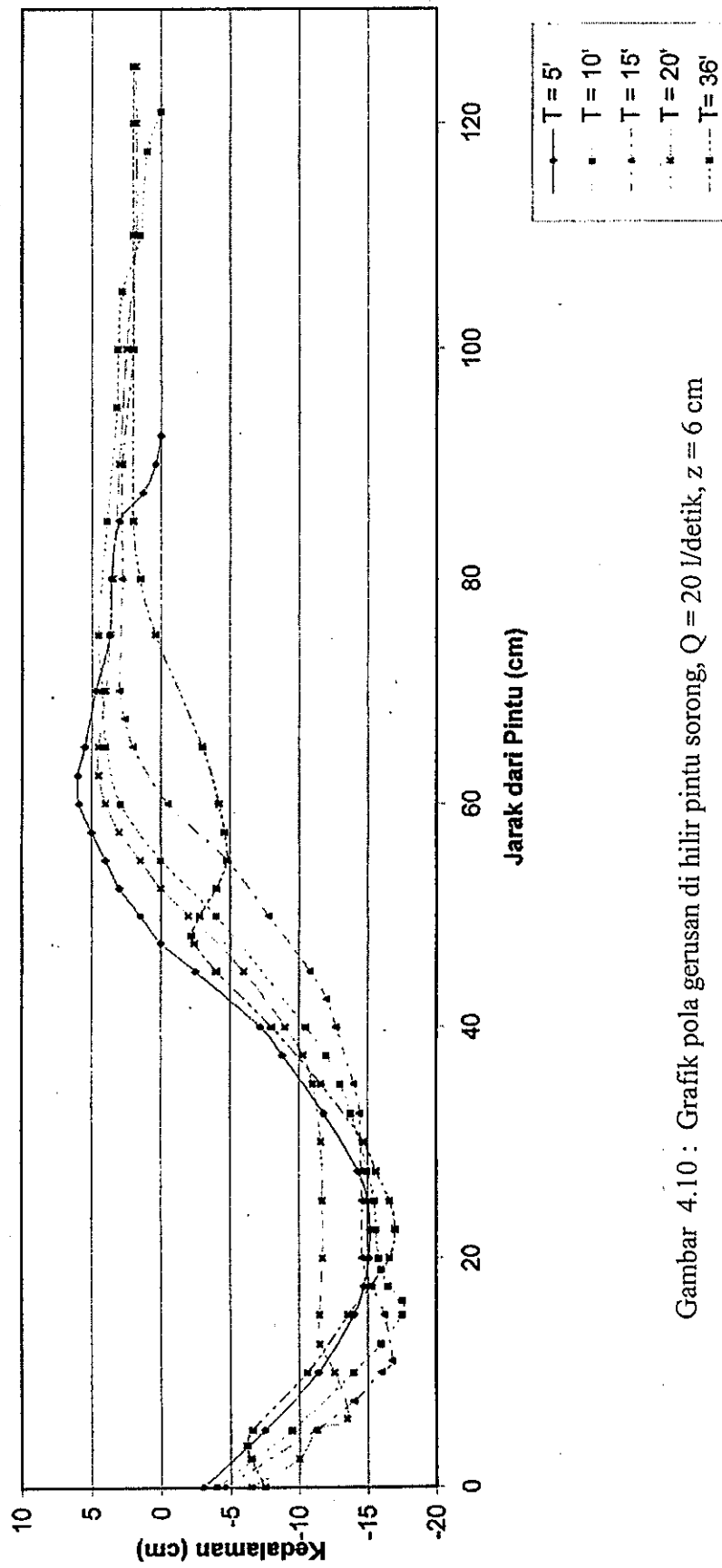
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = 2E-10x^6 - 8E-08x^5 + 1E-05x^4 - 0.0011x^3 + 0.0587x^2 - 1.5589x - 0.9777$$

$$R^2 = 0.9835$$

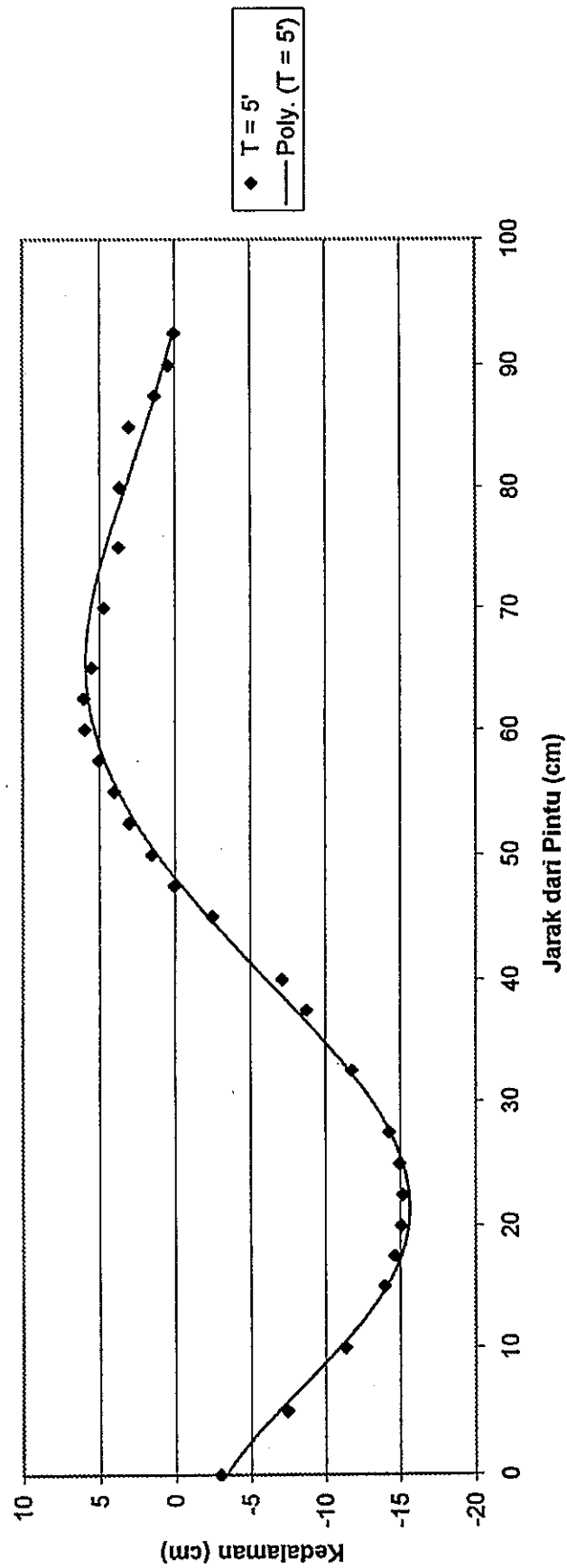
Gambar 4.9 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 4 cm, T = 38°

Q = 20 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



Gambar 4.10 : Grafik pola gerusan di hilir pintu sorong, $Q = 20$ l/detik, $z = 6$ cm

Q = 20 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 6 cm



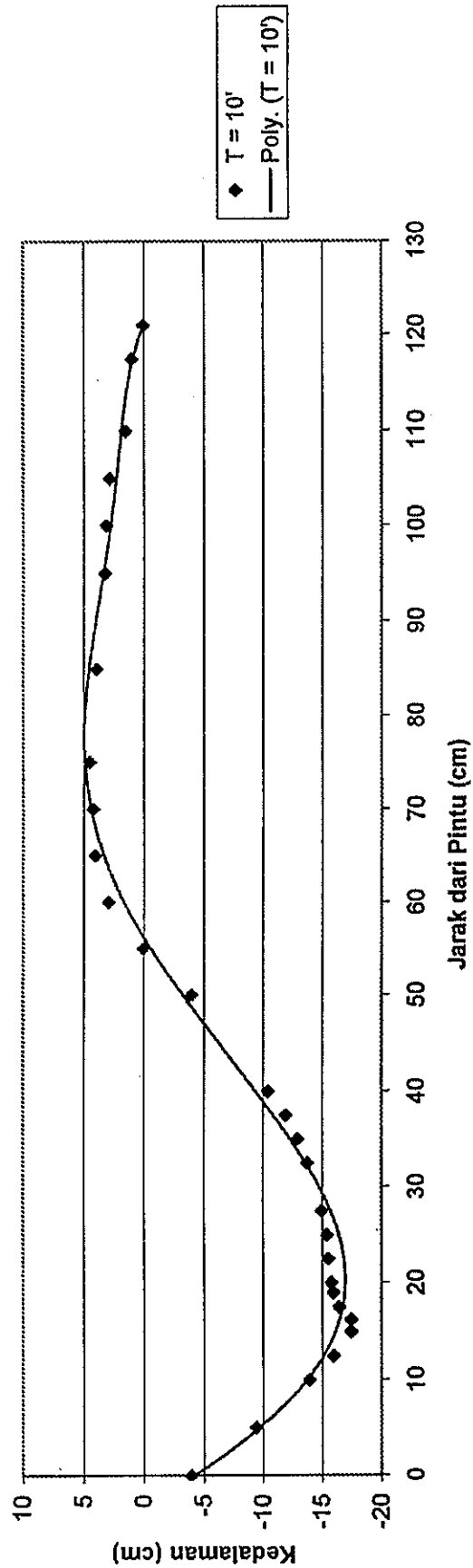
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -2E-09x^6 + 7E-07x^5 - 8E-05x^4 + 0.004x^3 - 0.0586x^2 - 0.5037x - 3.3731$$

$$R^2 = 0.9958$$

Gambar 4.11 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 6 cm, T = 5'

Q = 20 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 6 cm



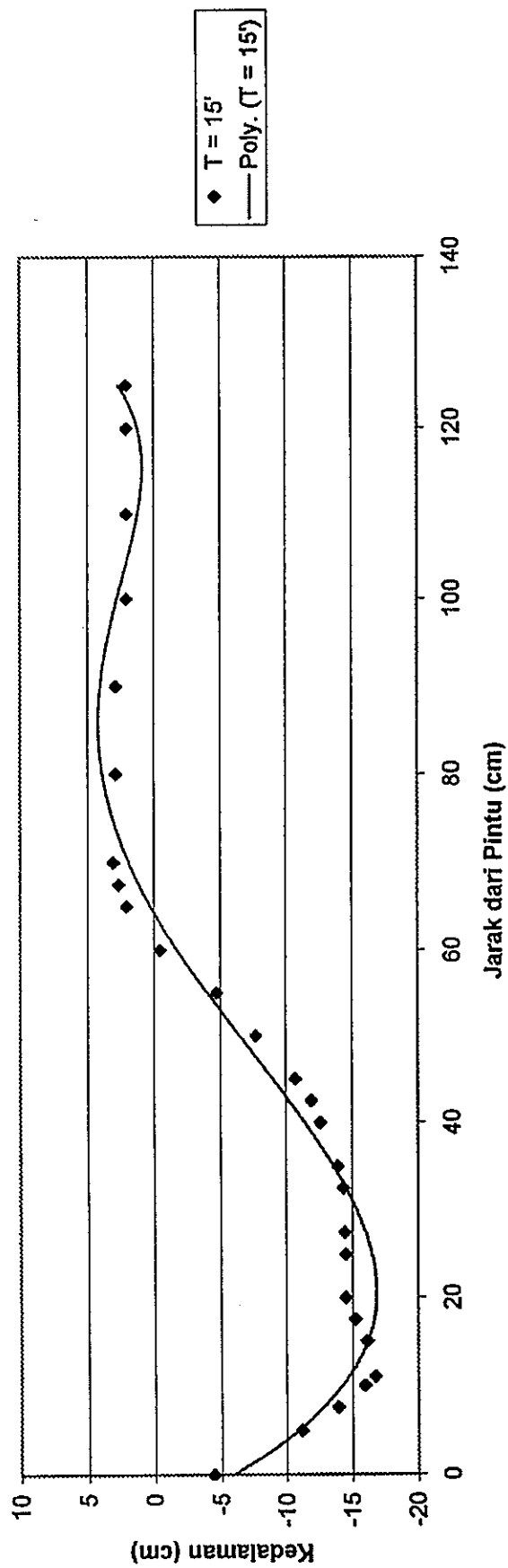
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -4E-10x^6 + 1E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0.0005x^3 + 0.0254x^2 - 1.2458x - 4.2188$$

$$R^2 = 0.9924$$

Gambar 4.12 : Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 6 cm, T = 10'

Q = 20 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 6 cm



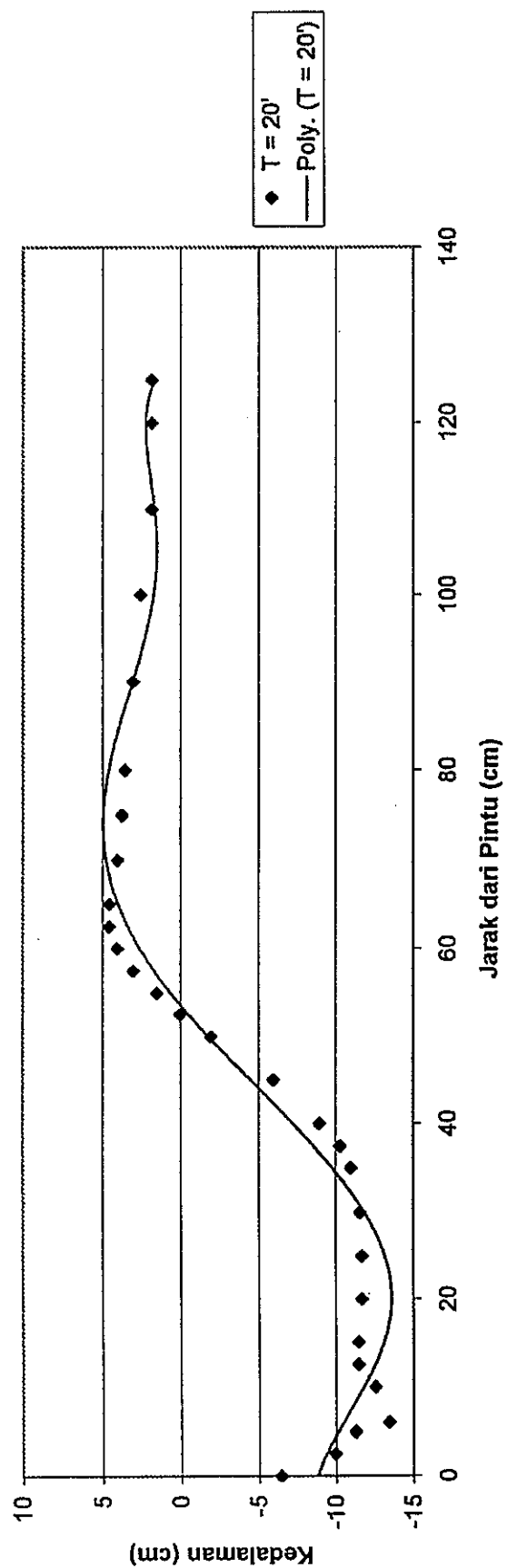
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = 3E-11x^6 + 8E-09x^5 + 0.0003x^3 + 0.0385x^2 - 1.1862x - 5.9534$$

$$R^2 = 0.9707$$

Gambar 4.13 : Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 6 cm, T = 15'

Q = 20 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



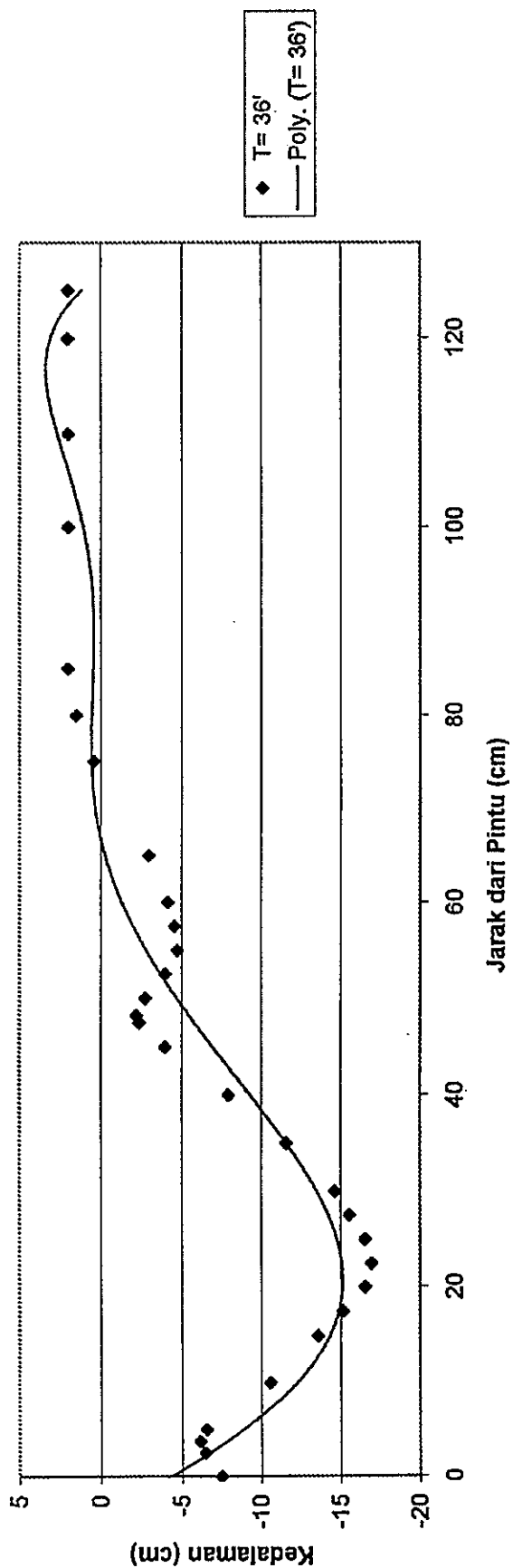
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -6E-10x^6 + 2E-07x^5 - 3E-05x^4 + 0.0017x^3 - 0.0268x^2 - 0.1776x - 8.7948$$

$$R^2 = 0.9659$$

Gambar 4.14 : Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 6 cm, T = 20'

Q = 20 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -5E-10x^6 + 2E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0.0007x^3 + 0.0161x^2 - 1.0001x - 4.3905$$

$$R^2 = 0.9127$$

Gambar 4.15 : Kurva pola gerusan di hilir pintu sorong, Q = 20 l/detik, z = 6 cm, T = 36'

4.2.2 Gerusan Lokal Untuk Debit 15 liter per detik

Pada saat debit sebesar 15 liter per detik dialirkan, aliran pada flum pengamatan cukup tenang, kedalaman air pada pintu sorong 8,71 cm, kecepatan aliran 34,44 cm/det. Dengan demikian bilangan Froude $Fr = \frac{34,44}{\sqrt{980 \cdot 8,71}} = 0,373 < 1$, artinya aliran pada kondisi sub kritis sehingga sesuai dengan model yang direncanakan. Pada kedalaman air tersebut ujung bawah pintu diposisikan menyentuh muka air (pintu pada posisi bukaan penuh). Kondisi material dasar saluran belum bergerak. Sesuai rencana, pintu sorong diturunkan 2 cm dari posisi awal. Ternyata material dasar saluran belum bergerak (tergerus). Kemudian pintu sorong diturunkan lagi secara perlahan untuk menuju posisi turun 4 cm dari posisi awal. Saat pintu sorong sampai pada posisi 2,5 cm, material dasar saluran hampir / mulai bergerak dan pintu terus diturunkan sampai posisi turun 4 cm dari posisi awal. Pada bukaan pintu ini gerusan lokal terus berlangsung. Pola gerusan yang terjadi dicatat pada saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 20 menit, dan 35 menit. Setelah gerusan berlangsung selama 35 menit, ternyata gerusan mencapai keadaan seimbang (equilibrium) dan gerusan berhenti.

Pengaliran (running) berikutnya adalah masih dengan debit 15 liter per detik, tetapi pintu pada posisi turun 6 cm dari posisi bukaan penuh (posisi awal). Pola gerusan yang terjadi dicatat pada saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 25 menit. Setelah gerusan berlangsung 25 menit, mencapai keadaan seimbang dan gerusan berhenti.

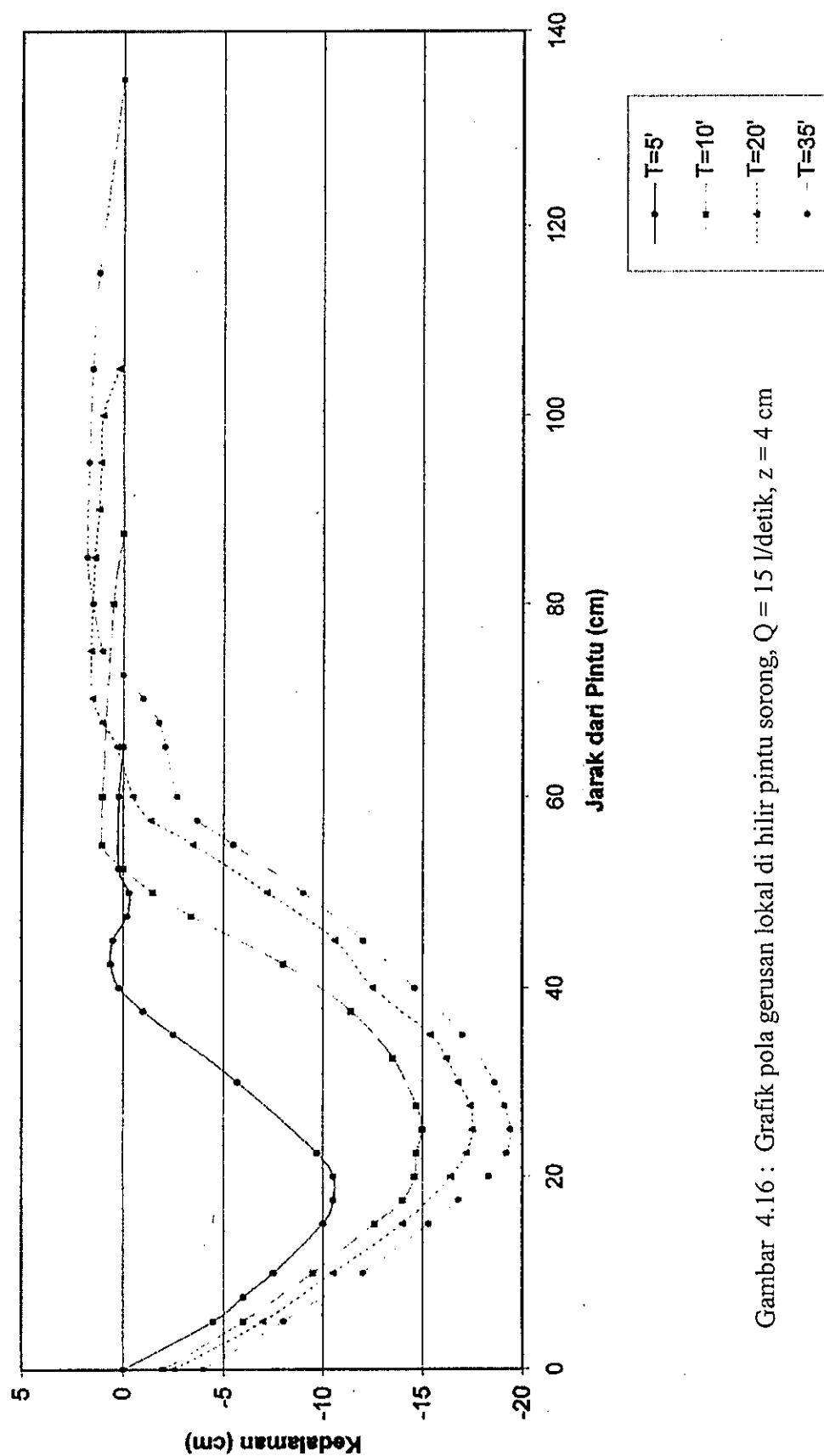
Tabel 4.5 memperlihatkan bahwa gerusan tidak langsung terjadi saat pintu mulai diturunkan, tetapi baru terjadi gerusan setelah pintu turun 2,5 cm. Lama proses gerusan sampai mencapai keadaan seimbang berkisar antara 25 sampai 35 menit.

Dari hasil pembuatan kontur pada pola gerusan yang terjadi (lihat gambar 4.2) dapat diasumsikan bahwa model yang diteliti merupakan model dua dimensi karena garis-garis yang terbentuk hampir sejajar dan tegak lurus arah aliran.

Data yang didapat dari pengamatan pola gerusan saat gerusan berlangsung maupun setelah mencapai keadaan equilibrium dianalisa dan dibuat grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong. Gambar 4.16 untuk penurunan pintu 4 cm dan gambar 4.21 untuk penurunan pintu 6 cm.

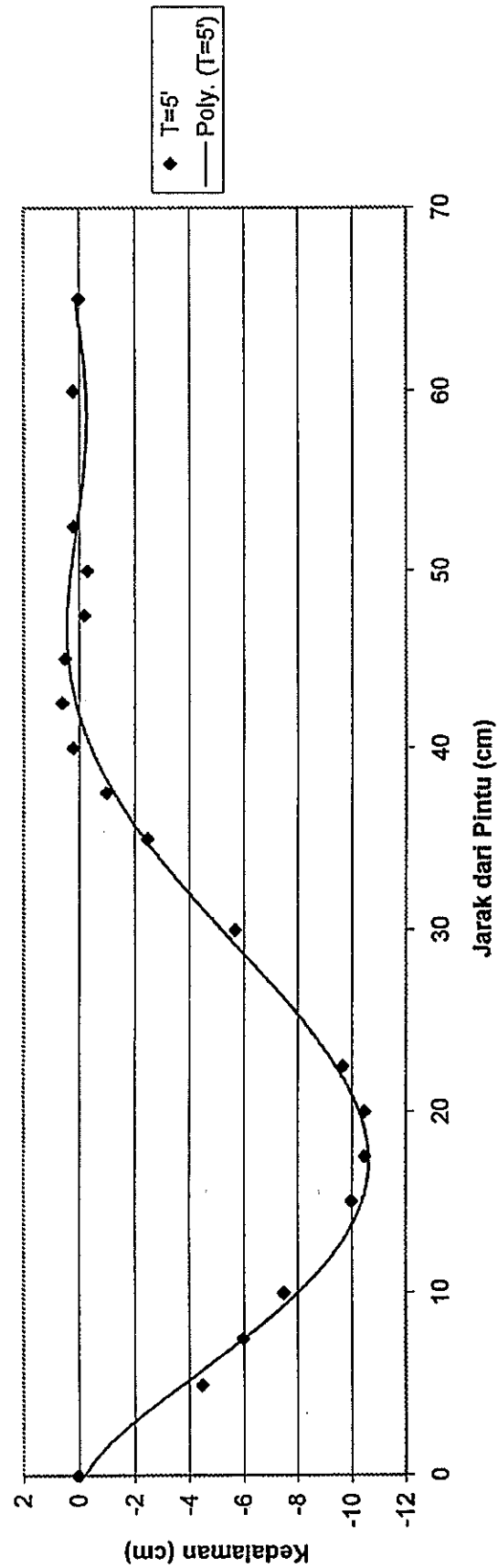
Dari grafik tersebut dengan bantuan program komputer dibuat kurva yang menggambarkan pola gerusan lokal di hilir pintu sorong. Kurva yang dihasilkan merupakan kurva polynomial pangkat enam. Gambar 4.17 sampai 4.20 untuk penurunan pintu 4 cm dan gambar 4.22 sampai 4.25 untuk penurunan pintu 6 cm.

$Q = 15$ l/detik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



Gambar 4.16 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 15$ l/detik, $z = 4$ cm

Q = 15 l/detik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



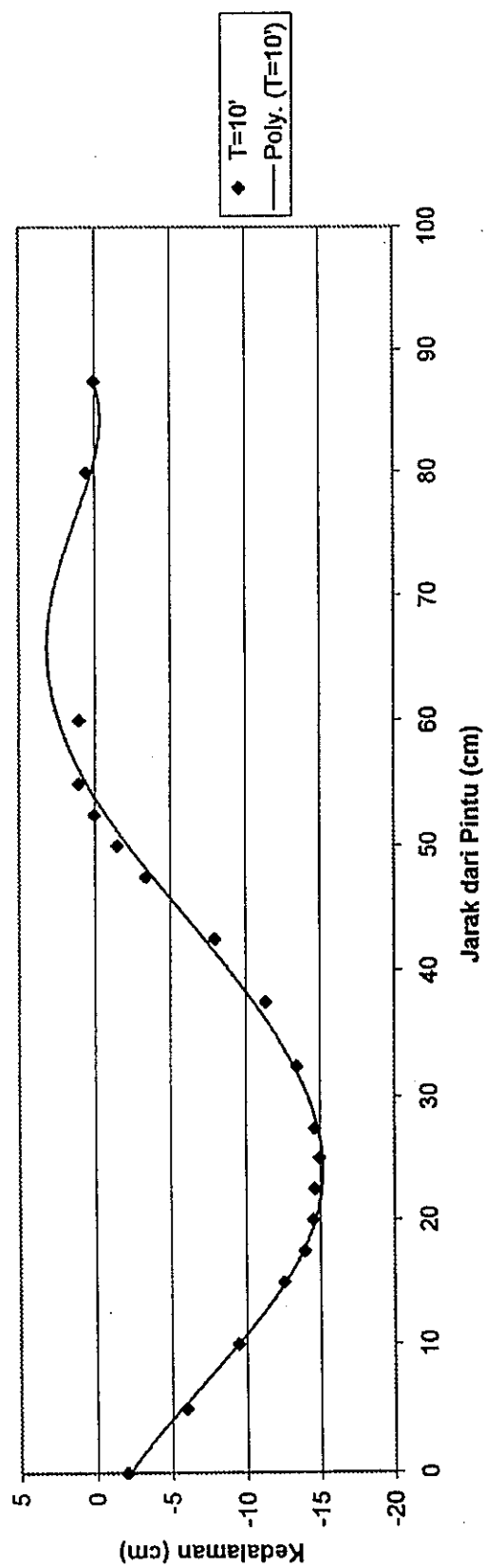
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -1E-08x^6 + 3E-06x^5 - 0.0003x^4 + 0.0096x^3 - 0.1165x^2 - 0.3371x - 0.2125$$

$$R^2 = 0.9908$$

Gambar 4.17 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 4 cm, T = 5'

Q = 15 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm



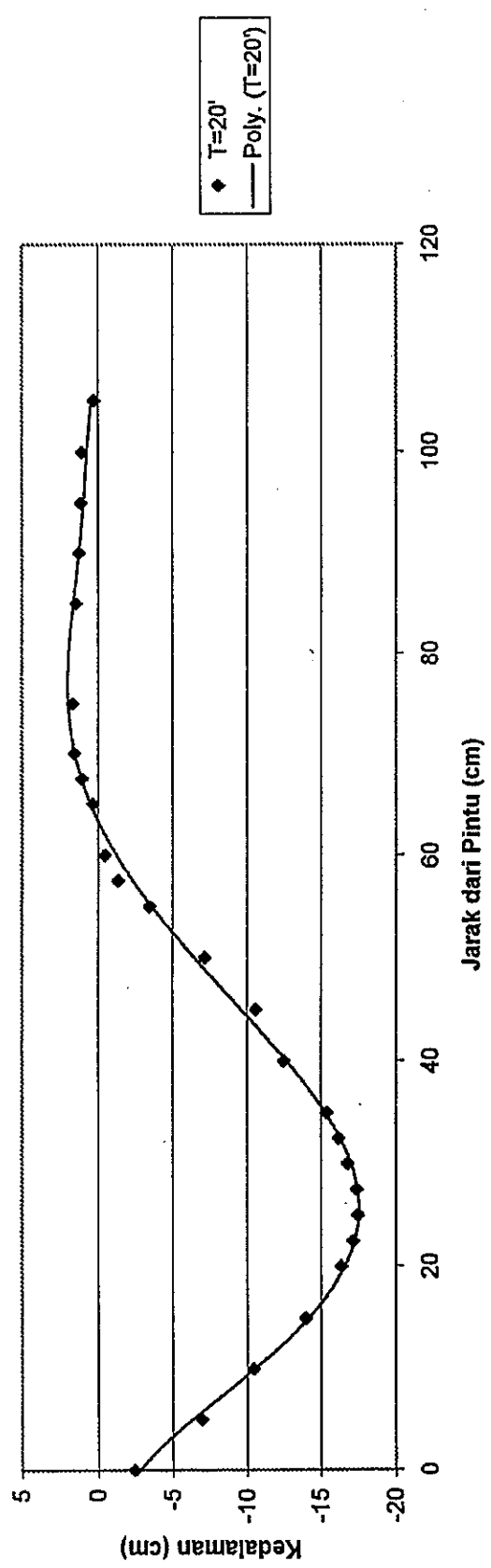
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -4E-11x^6 + 2E-07x^5 - 3E-05x^4 + 0.0023x^3 - 0.0349x^2 - 0.5756x - 2.168$$

$$R^2 = 0.993$$

Gambar 4.18 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 4 cm, T = 10'

Q = 15 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm



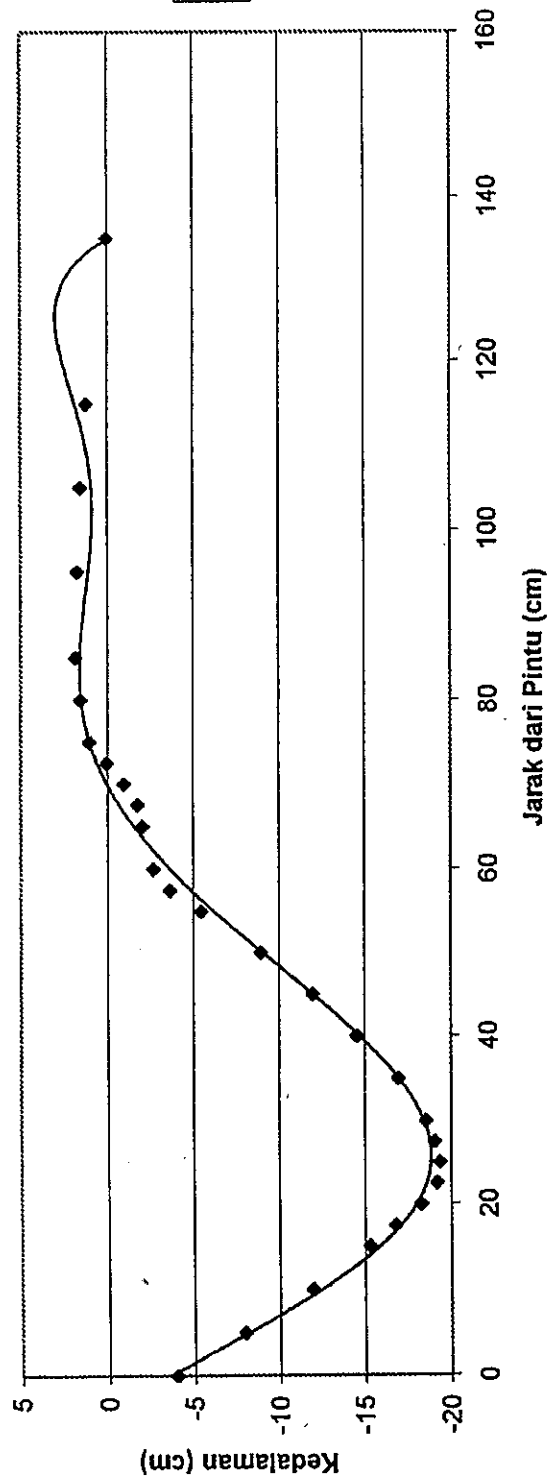
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -1E-09x^6 + 4E-07x^5 - 5E-05x^4 + 0.0029x^3 - 0.0481x^2 - 0.5374x - 2.8116$$

$$R^2 = 0.9973$$

Gambar 4.19 : Kurva pola lokal gerusan di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 4 cm, T = 20'

Q = 15 l/detik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



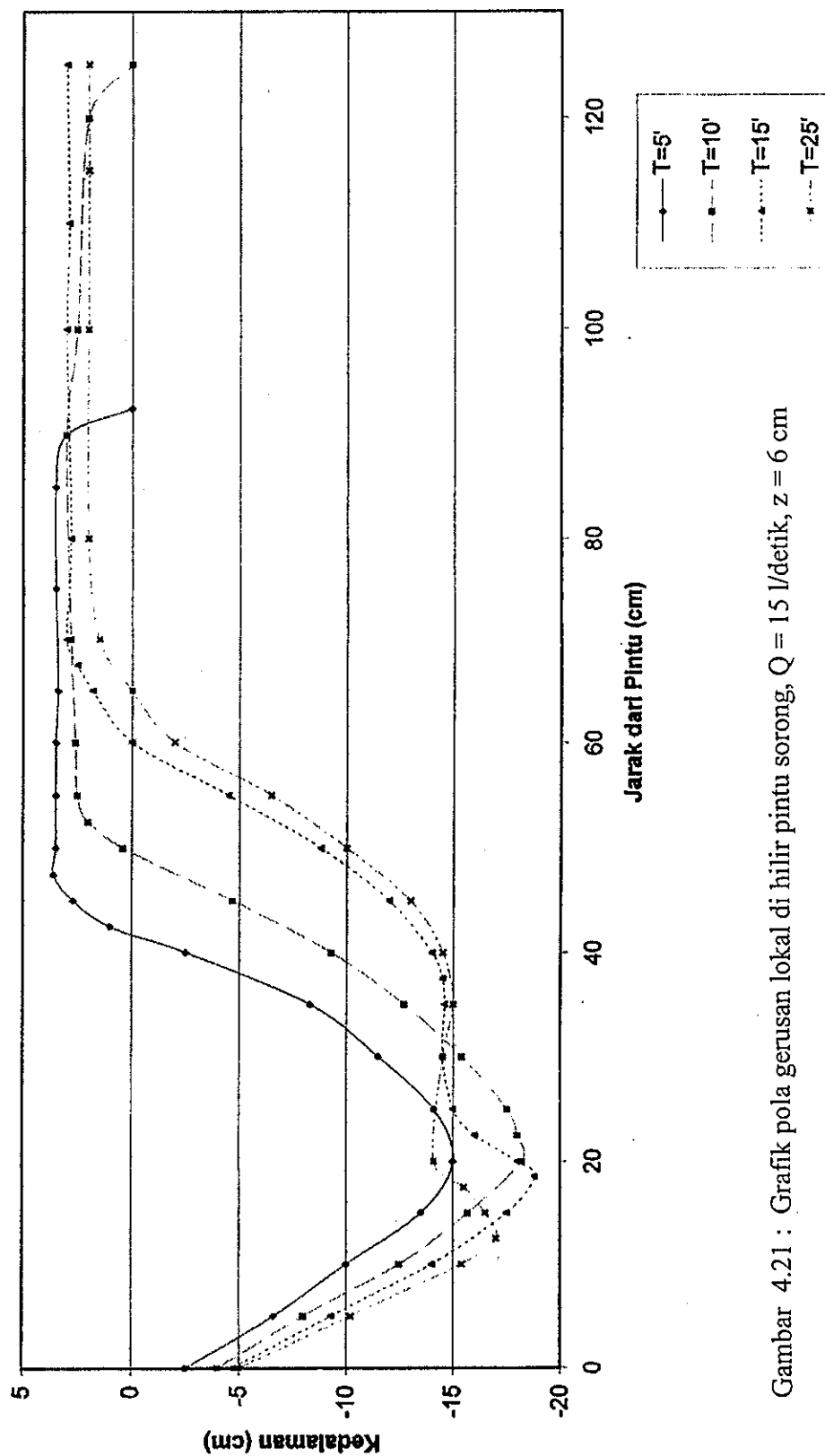
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -5E-10x^6 + 2E-07x^5 - 3E-05x^4 + 0.0015x^3 - 0.0103x^2 - 0.909x - 3.6009$$

$$R^2 = 0.9948$$

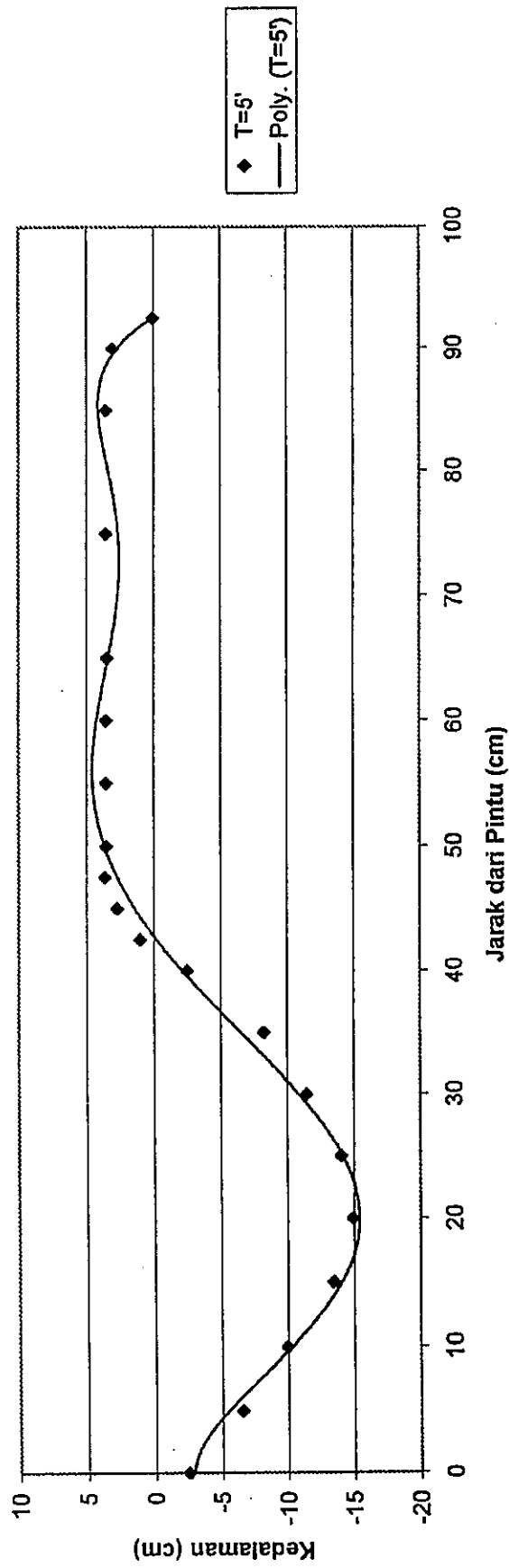
Gambar 4.20 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 4 cm, T = 35'

$Q = 15$ l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



Gambar 4.21 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 15$ l/detik, $z = 6$ cm

Q = 15 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



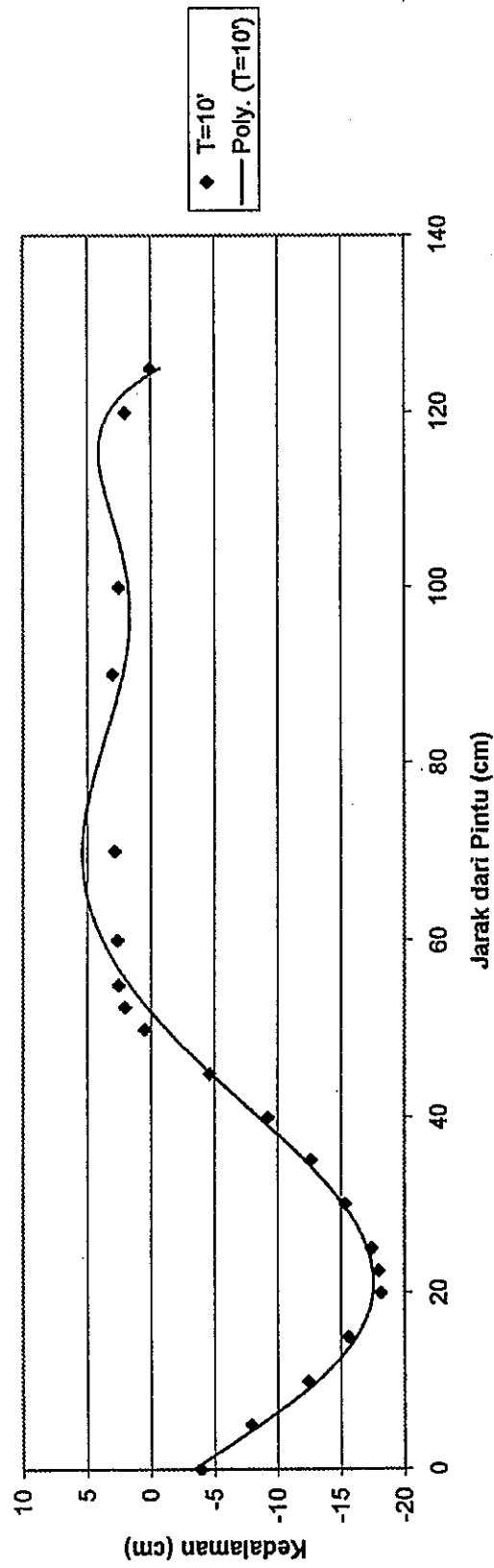
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -7E-09x^6 + 2E-06x^5 - 0.0002x^4 + 0.0093x^3 - 0.1503x^2 + 0.0159x - 2.8946$$

$$R^2 = 0.9866$$

Gambar 4.22 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 6 cm, T = 5'

Q = 15 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 6 cm



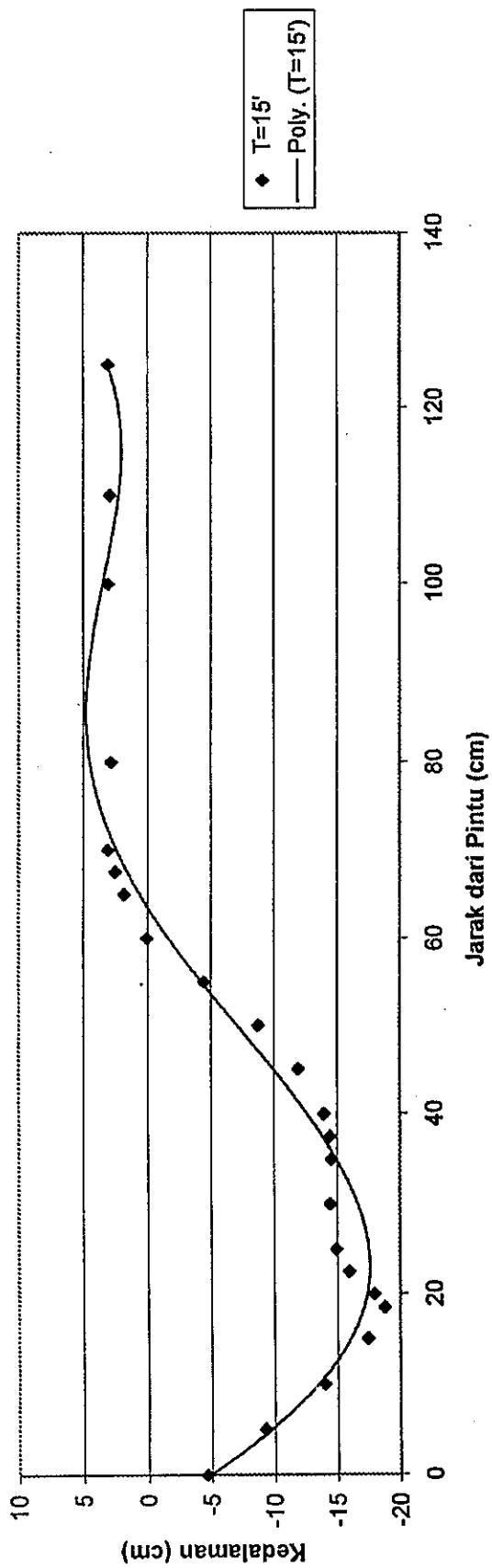
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -1E-09x^6 + 4E-07x^5 - 4E-05x^4 + 0.0021x^3 - 0.0081x^2 - 1.068x - 3.3436$$

$$R^2 = 0.9835$$

Gambar 4.23 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 6 cm, T = 10'

Q = 15 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



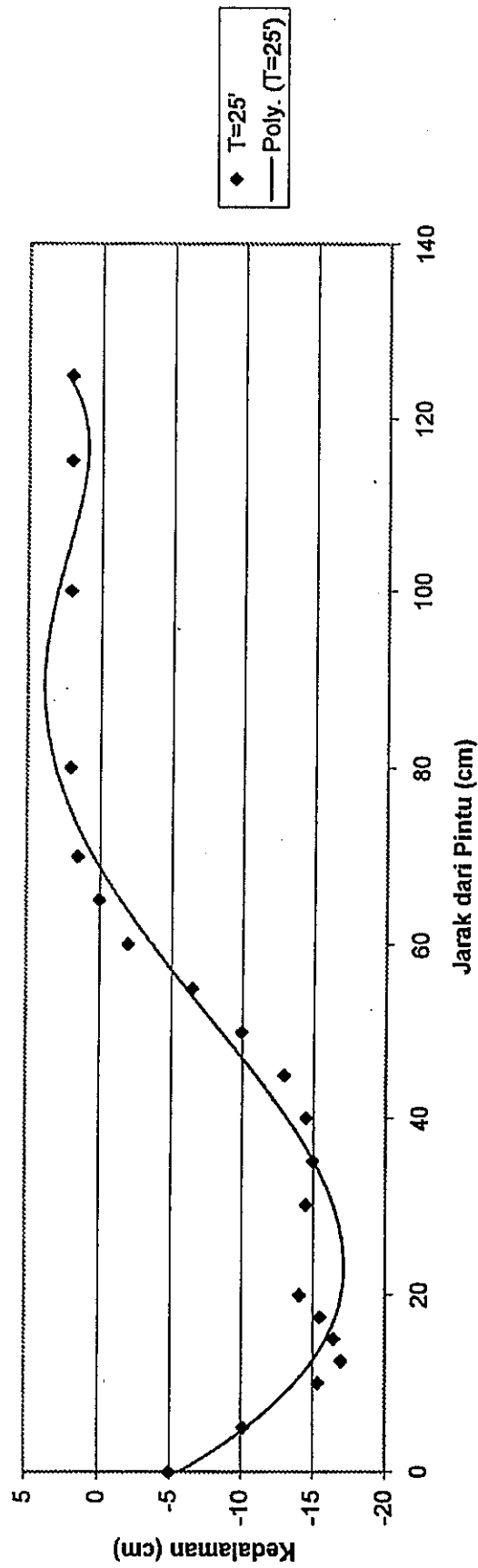
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -2E-10x^6 + 8E-08x^5 - 1E-05x^4 + 0.0004x^3 + 0.0183x^2 - 1.0839x - 4.8625$$

$$R^2 = 0.9755$$

Gambar 4.24 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 6 cm, T = 15'

Q = 15 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = 3E-11x^6 + 2E-10x^5 - 5E-07x^4 - 0.0002x^3 + 0.0295x^2 - 1.0884x - 5.6716$$

$$R^2 = 0.9645$$

Gambar 4.25 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 15 l/detik, z = 6 cm, T = 25'

4.2.3. Gerusan Lokal Untuk Debit 10 liter per detik

Pada saat debit sebesar 10 liter per detik dialirkan, aliran pada flum pengamatan cukup tenang, kedalaman air pada pintu sorong 7,09 cm, kecepatan aliran 28,21 cm/det.

Dengan demikian bilangan Froude $Fr = \frac{28,21}{\sqrt{980 \cdot 7,09}} = 0,338 < 1$, artinya aliran pada kondisi

sub kritis sehingga sesuai dengan model yang direncanakan. Pada kedalaman air tersebut ujung bawah pintu diposisikan menyentuh muka air (pintu pada posisi bukaan penuh). Kondisi material dasar saluran belum bergerak. Sesuai rencana, pintu sorong diturunkan 2 cm dari posisi awal. Ternyata material dasar saluran belum bergerak (tergerus). Kemudian pintu sorong diturunkan lagi secara perlahan untuk menuju posisi turun 4 cm dari posisi awal. Saat pintu sorong sampai pada posisi 2,2 cm, material dasar saluran hampir / mulai bergerak dan pintu terus diturunkan sampai posisi turun 4 cm dari posisi awal. Pada bukaan pintu ini gerusan lokal terus berlangsung. Pola gerusan yang terjadi dicatat pada saat gerusan telah berlangsung 5 menit, 10 menit, 20 menit, 32 menit. Setelah gerusan berlangsung selama 32 menit, ternyata gerusan mencapai keadaan seimbang (equilibrium) dan gerusan berhenti.

Pengaliran (running) berikutnya adalah masih dengan debit 10 liter per detik, tetapi pintu pada posisi turun 6 cm dari posisi bukaan penuh (posisi awal). Pola gerusan yang terjadi dicatat pada saat gerusan telah berlangsung 2 menit, 5 menit, 10 menit, 20 menit, dan 38 menit. Setelah gerusan berlangsung 38 menit, mencapai keadaan seimbang dan gerusan berhenti.

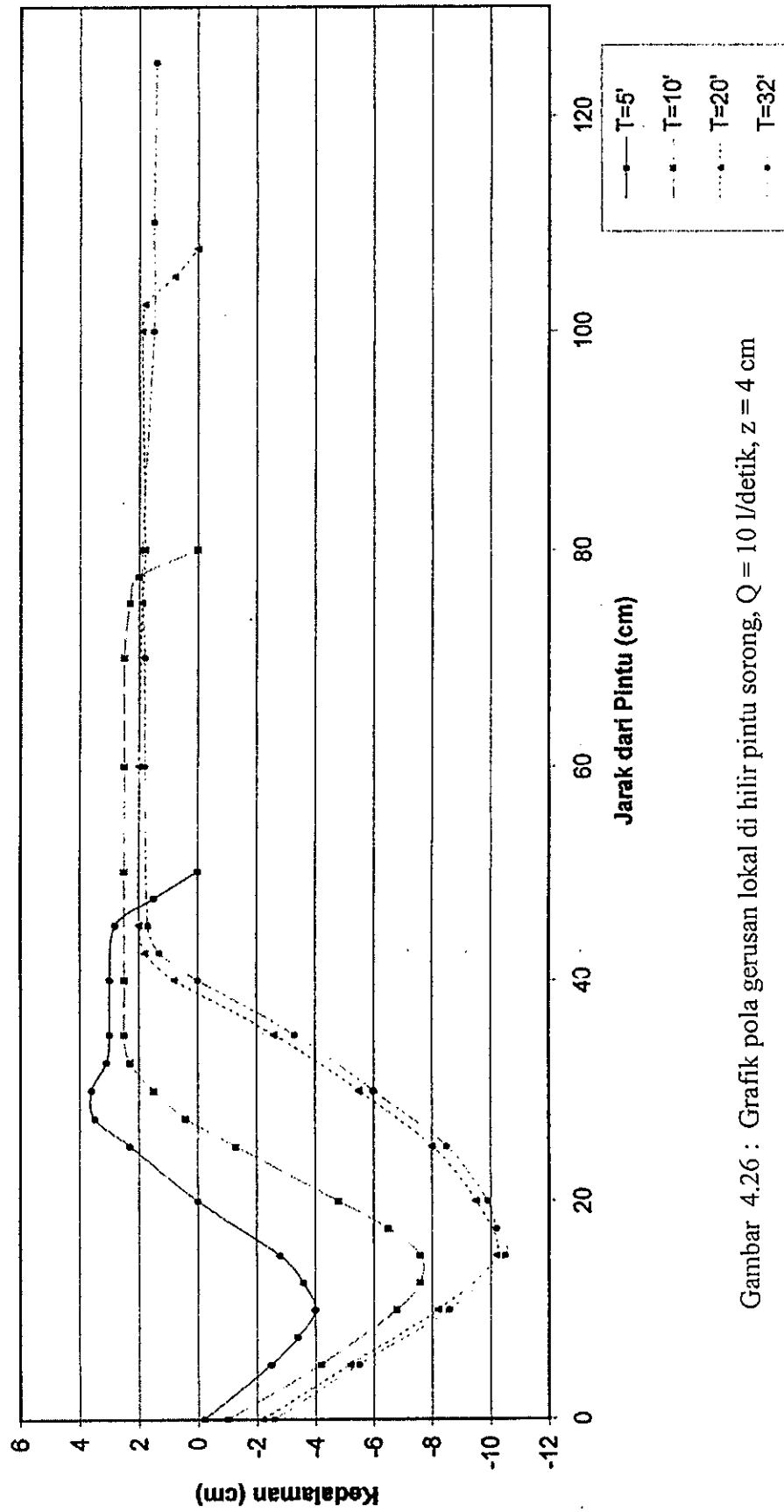
Tabel 4.9 memperlihatkan bahwa gerusan tidak langsung terjadi saat pintu mulai diturunkan, tetapi baru terjadi gerusan setelah pintu turun 2,2 cm. Lama proses gerusan sampai mencapai keadaan seimbang berkisar antara 30 sampai 40 menit.

Dari hasil pembuatan kontur pada pola gerusan yang terjadi (lihat gambar 4.3) dapat diasumsikan bahwa model yang diteliti merupakan model dua dimensi karena garis-garis yang terbentuk hampir sejajar dan tegak lurus arah aliran.

Data yang didapat dari pengamatan pola gerusan saat gerusan berlangsung maupun setelah mencapai keadaan equilibrium dianalisa dan dibuat grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong. Gambar 4.26 untuk penurunan pintu 4 cm dan gambar 4.31 untuk penurunan pintu 6 cm.

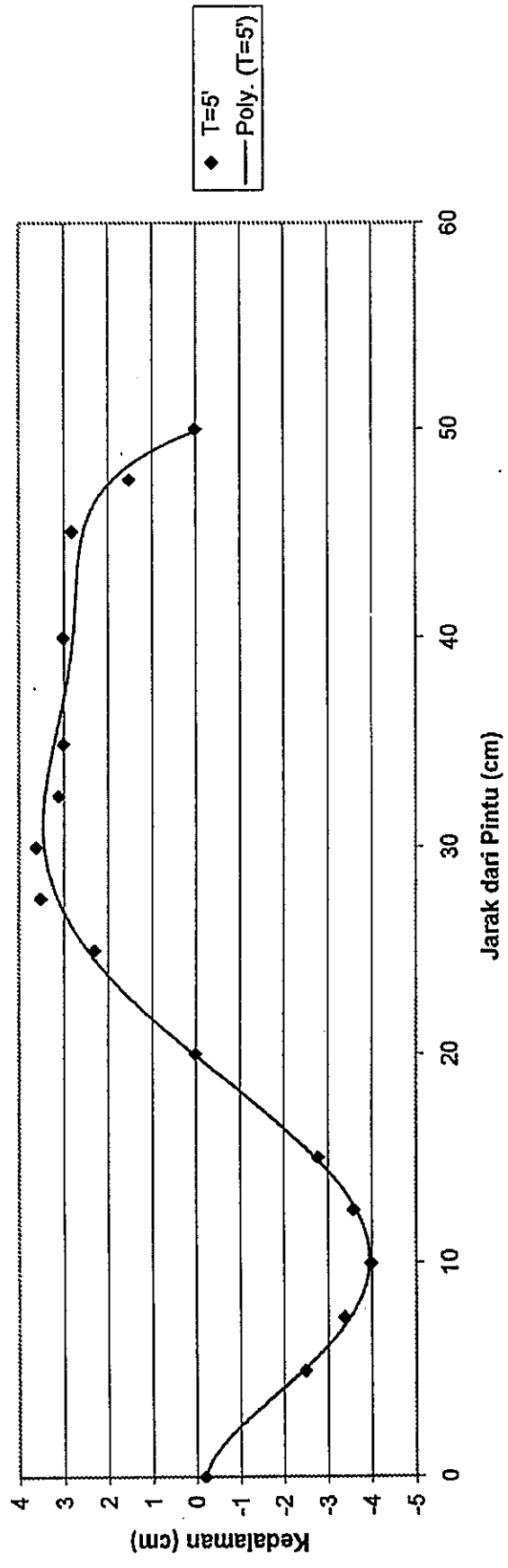
Dari grafik tersebut dengan bantuan program komputer dibuat kurva yang menggambarkan pola gerusan lokal di hilir pintu sorong. Kurva yang dihasilkan merupakan kurva polynomial pangkat enam. Gambar 4.27 sampai 4.30 untuk penurunan pintu 4 cm dan gambar 4.32 sampai 4.36 untuk penurunan pintu 6 cm.

**$Q = 10 \text{ l/detik}$
Penutup Pintu (z) = 4 cm**



Gambar 4.26 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/detik}$, $z = 4 \text{ cm}$

Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



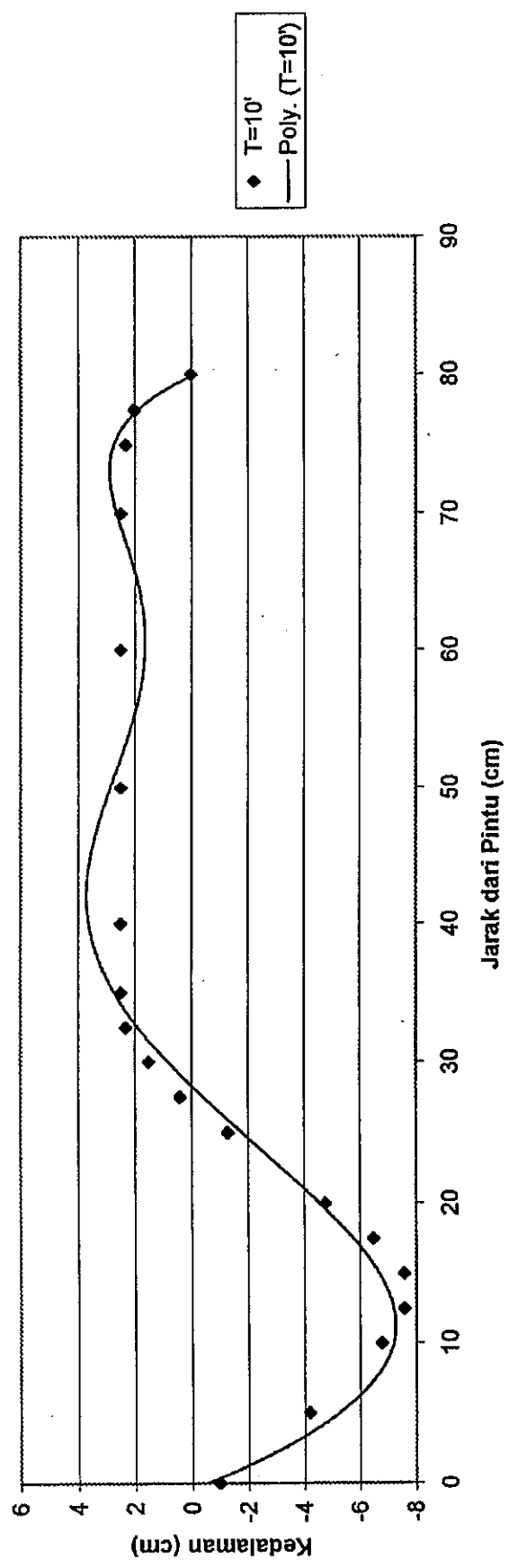
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -9E-08x^6 + 1E-05x^5 - 0.0007x^4 + 0.0171x^3 - 0.1381x^2 - 0.1028x - 0.2018$$

$$R^2 = 0.9948$$

Gambar 4.27 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 4 cm, T = 5'

Q = 10 l/detik
 Penutup Pintu (z) = 4 cm



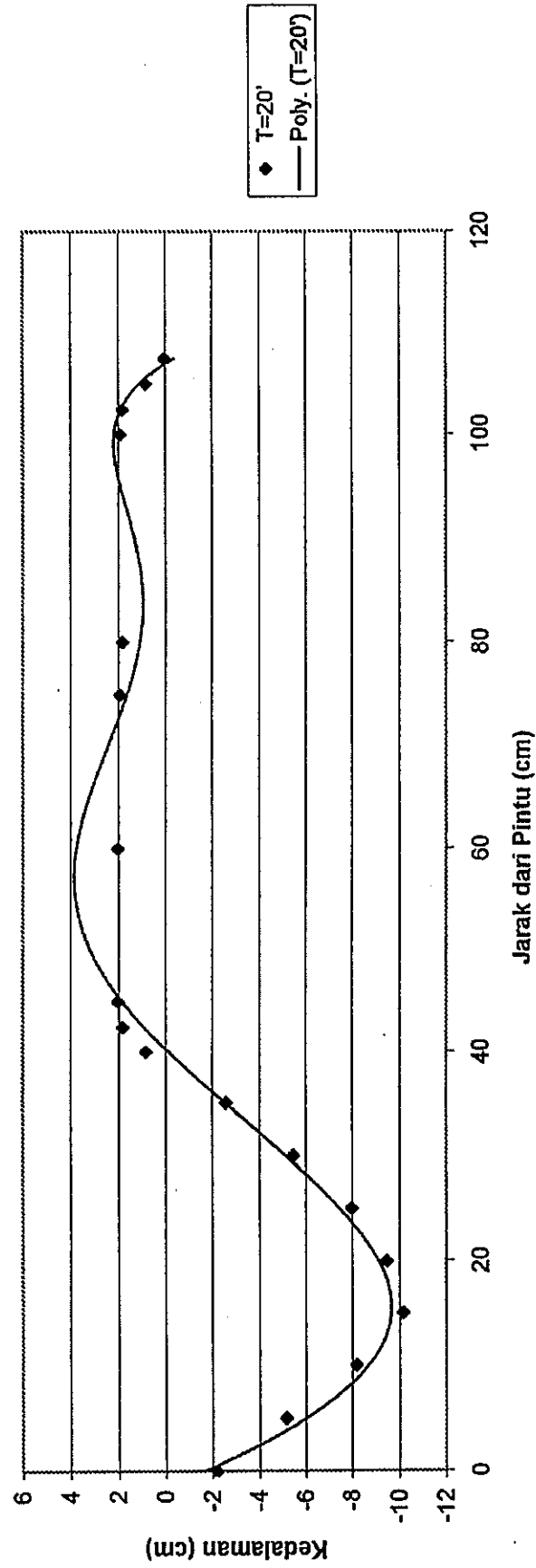
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -5E-09x^6 + 1E-06x^5 - 7E-05x^4 + 0.0009x^3 + 0.0536x^2 - 1.2321x - 0.5406$$

$$R^2 = 0.9743$$

Gambar 4.28 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 4 cm, T = 10'

Q = 10 l/defik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



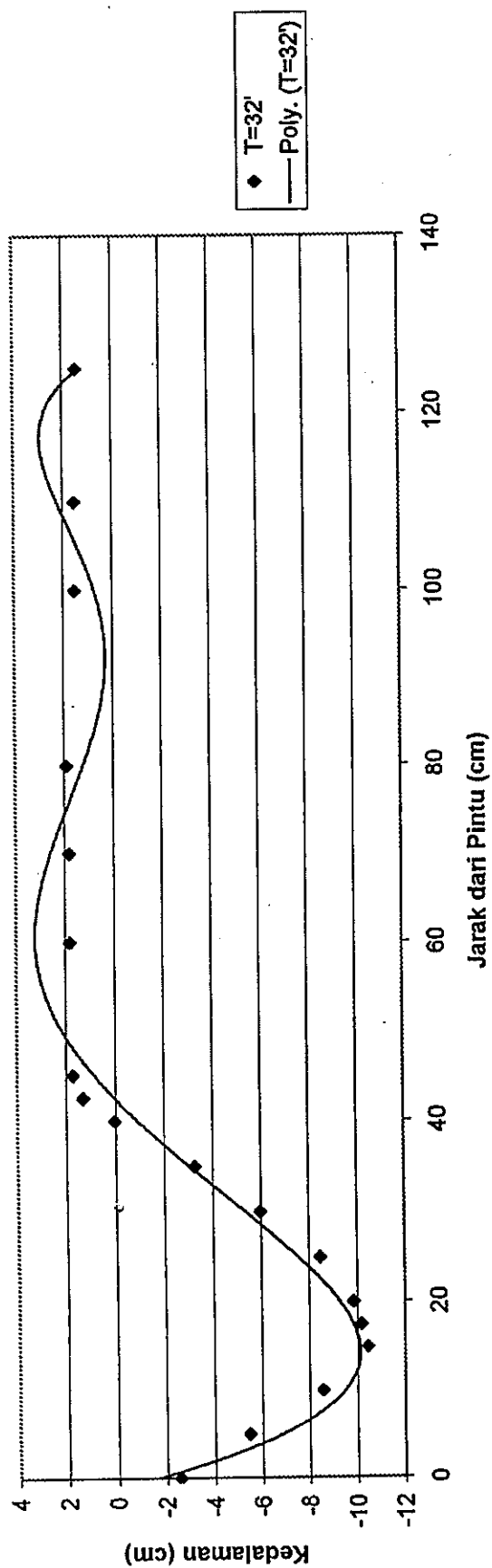
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -1E-09x^6 + 3E-07x^5 - 3E-05x^4 + 0.0007x^3 + 0.0292x^2 - 1.0381x - 1.6622$$

$$R^2 = 0.977$$

Gambar 4.29 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/defik, z = 4 cm, T = 20°

Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 4 cm



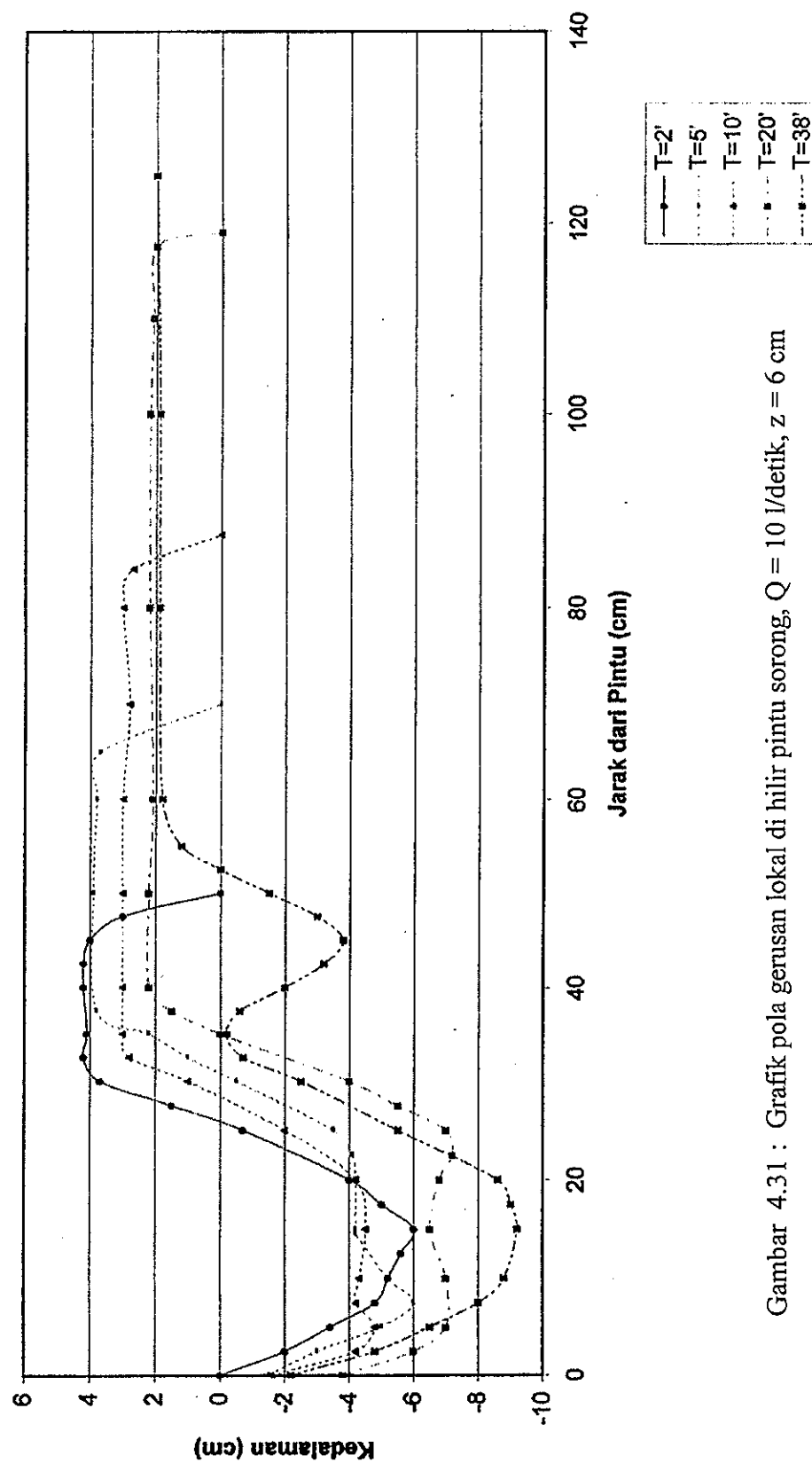
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -2E-10x^6 + 3E-08x^5 + 3E-06x^4 - 0.001x^3 + 0.0673x^2 - 1.3658x - 1.6374$$

$$R^2 = 0.9679$$

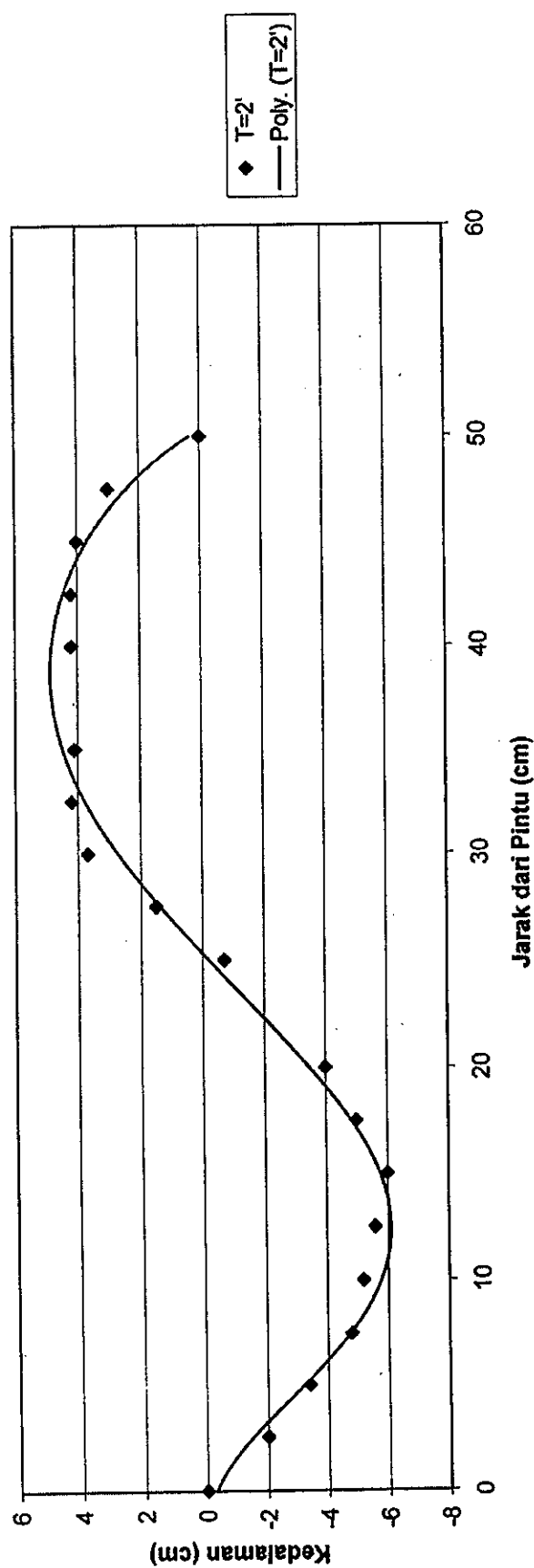
Gambar 4.30 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 4 cm, T = 32'

$Q = 10 \text{ l/detik}$
Penutup Pintu (z) = 6 cm



Gambar 4.31 : Grafik pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, $Q = 10 \text{ l/detik}$, $z = 6 \text{ cm}$

Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



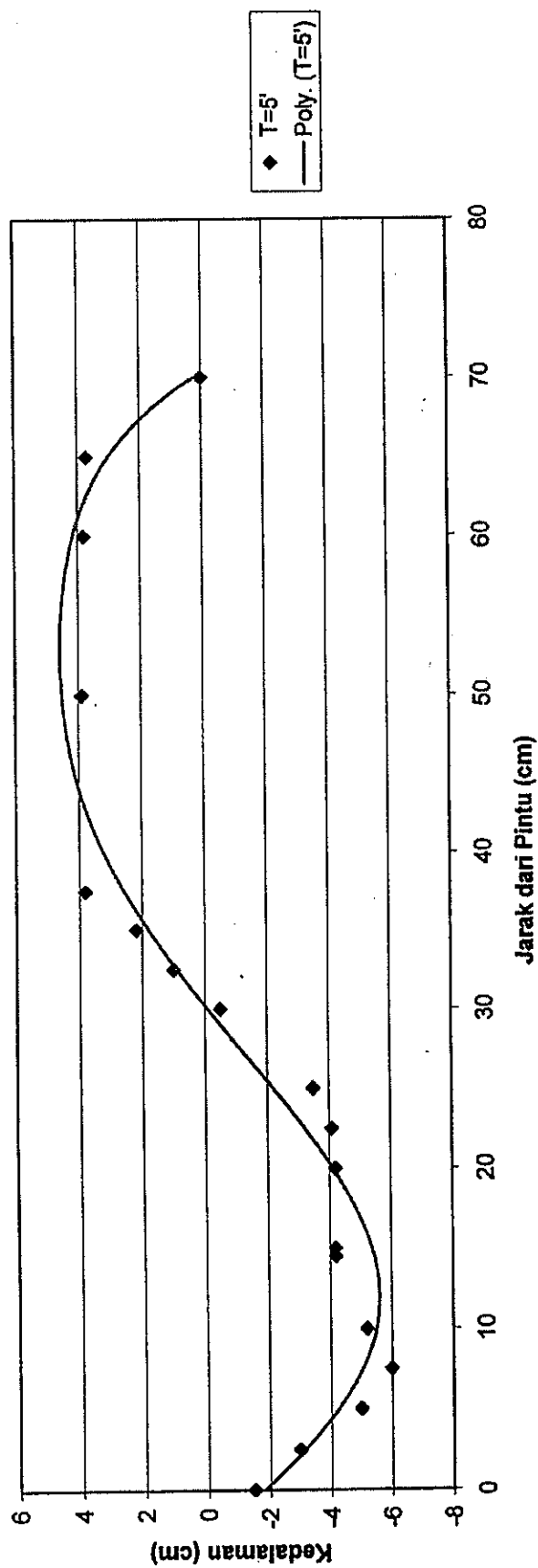
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -4E-08x^6 + 7E-06x^5 - 0.0004x^4 + 0.0124x^3 - 0.1125x^2 - 0.2813x - 0.292$$

$$R^2 = 0.9862$$

Gambar 4.32 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 6 cm, T = 2'

Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



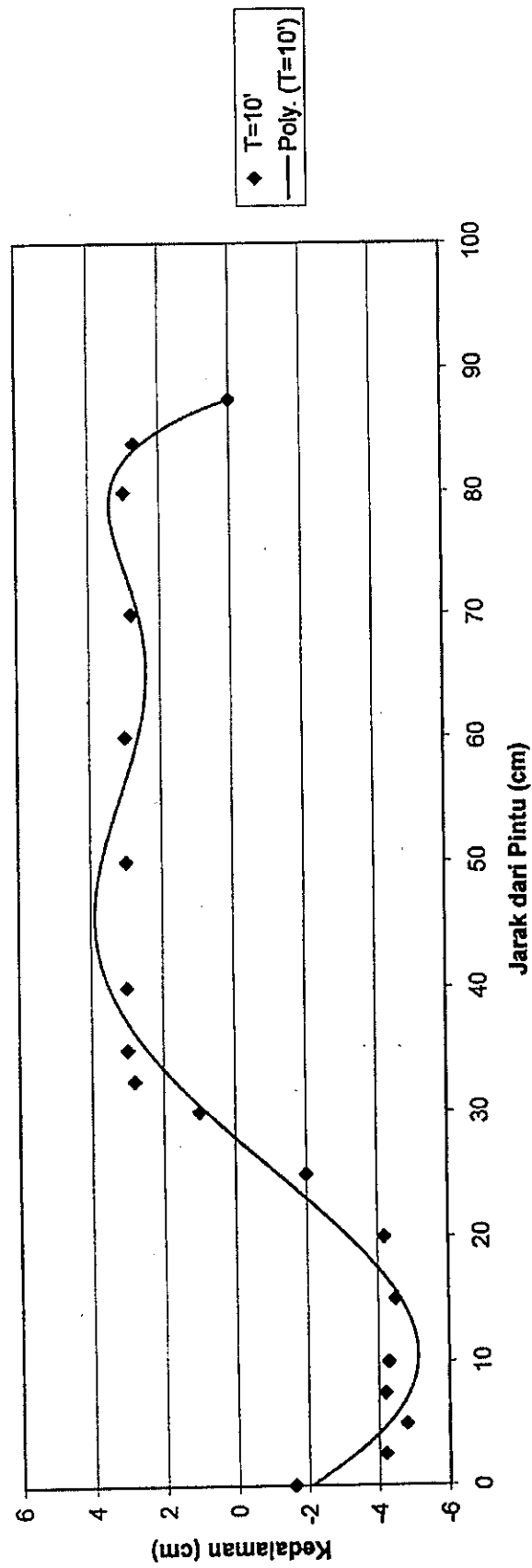
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -5E-09x^6 + 1E-06x^5 - 7E-05x^4 + 0.0018x^3 + 0.0075x^2 - 0.5609x - 1.8196$$

$$R^2 = 0.9538$$

Gambar 4.33 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 6 cm, T = 5'

Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



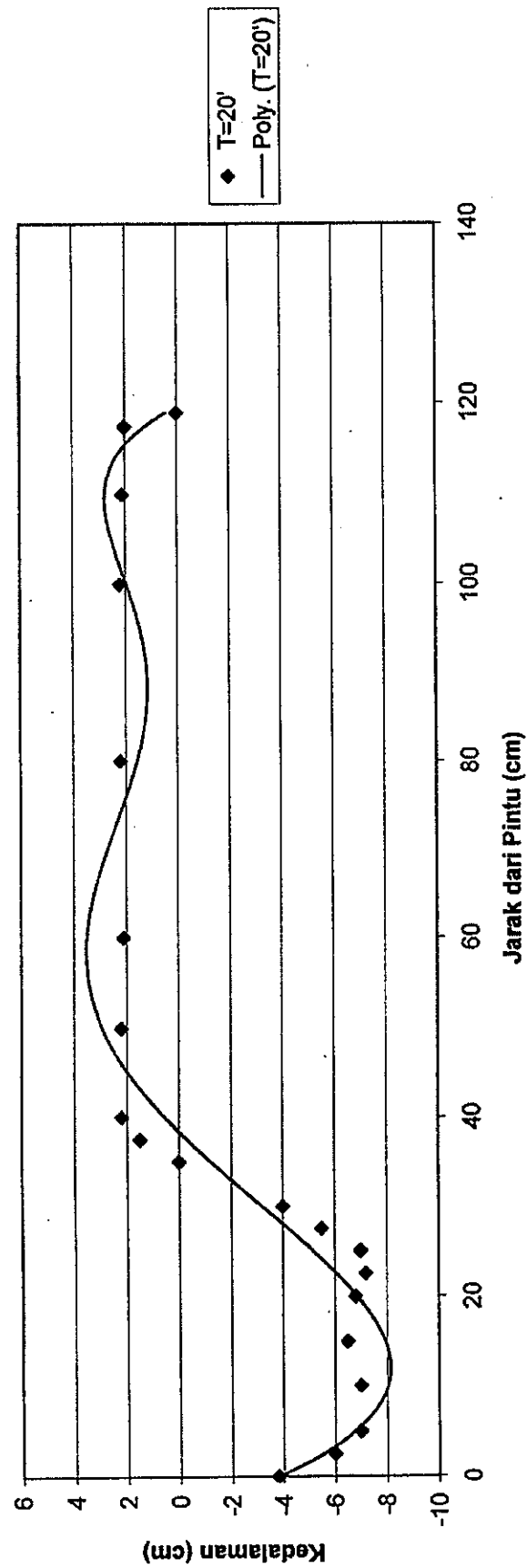
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -3E-09x^6 + 6E-07x^5 - 5E-05x^4 + 0.0009x^3 + 0.02x^2 - 0.5578x - 2.0805$$

$$R^2 = 0.9644$$

Gambar 4.34 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 6 cm, T = 10'

Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm



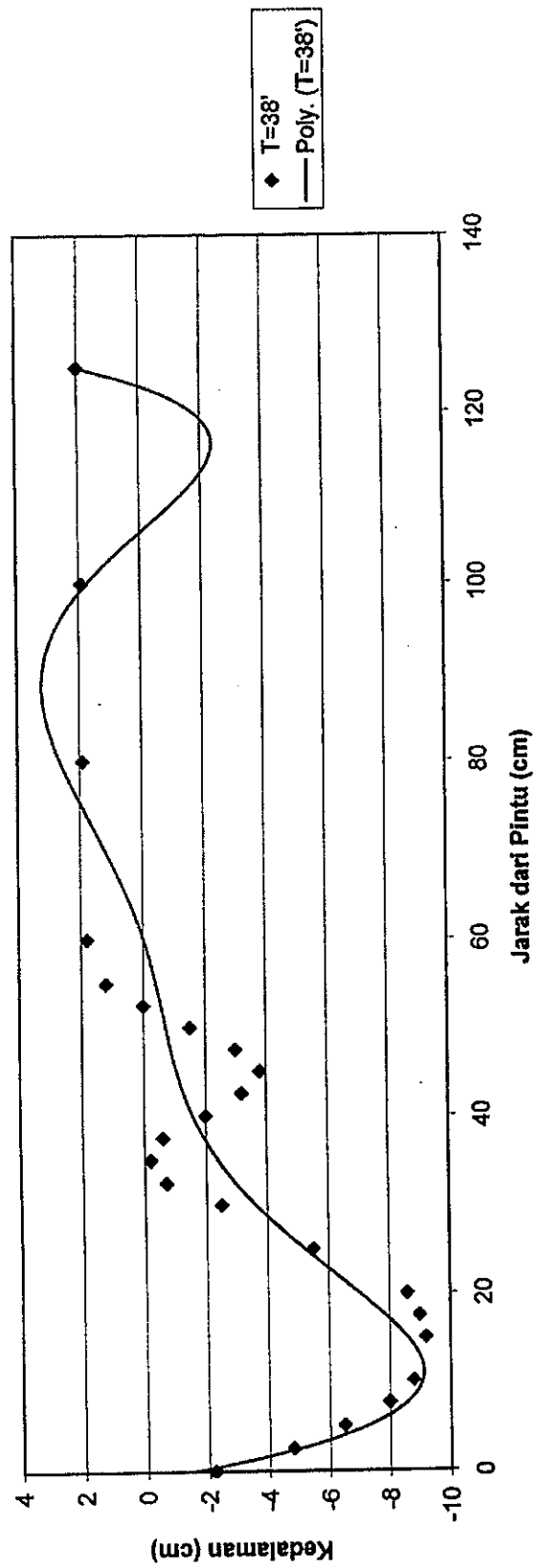
PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = -3E-10x^6 + 7E-08x^5 - 2E-06x^4 - 0.0005x^3 + 0.0427x^2 - 0.7994x - 3.8086$$

$$R^2 = 0.9311$$

Gambar 4.35 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 6 cm, T = 20'

**Q = 10 l/detik
Penutup Pintu (z) = 6 cm**



PERSAMAAN GARIS REGRESI

$$y = 1E-09x^6 - 4E-07x^5 + 5E-05x^4 - 0.0038x^3 + 0.1285x^2 - 1.7153x - 1.5164$$

$$R^2 = 0.8735$$

Gambar 4.36 : Kurva pola gerusan lokal di hilir pintu sorong, Q = 10 l/detik, z = 6 cm, T = 38'

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan yang dilaksanakan melalui percobaan pada model gerusan lokal dasar saluran dihilir pintu sorong dengan beberapa debit aliran dan beberapa posisi bukaan pintu dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada penurunan atau pengurangan bukaan pintu dari posisi bukaan pintu penuh, baru akan terjadi gerusan atau material dasar baru mulai terangkut pada posisi bukaan pintu tertentu. Gerusan lokal belum terjadi apabila pintu diturunkan sedikit.
2. Lama proses terjadinya gerusan sampai mencapai keadaan seimbang (equilibrium) tidak tergantung dari besarnya debit aliran ataupun lebar sempitnya bukaan pintu. Kemungkinan lebih disebabkan oleh sifat material dasar saluran.
3. Pola gerusan lokal dihilir pintu sorong yang terjadi setiap saat dapat didekati dengan grafik polynomial pangkat 6.
4. Pola gerusan lokal di hilir pintu sorong yang terjadi setelah mencapai keadaan equilibrium (gerusan maksimum) dapat digambarkan dengan grafik polynomial pangkat 6.
5. Model yang dipakai untuk meneliti gerusan lokal dasar saluran di hulu pintu sorong disini, dapat dianggap sebagai model dua dimensi.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat disarankan, agar konstruksi pintu sorong cukup aman terhadap gerusan lokal yang terjadi didasar saluran, dibagian hilir pintu perlu diberi pasangan atau hamparan material dengan diameter besar sehingga tidak mudah tergerus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang Triatmojo, Dr. Ir. CES. DEA., *Hidraulika*, Beta Offset, Yogyakarta, 1996.
- [2] Chadwick Andae, *Hydraulics In Civil and Environmental Engineering*, E & FN SPON, London, 1992.
- [3] Gijs J.C.M. Mofftmaus, "Jet Scour in Equilibrium Phase" in : *Journal of Hydraulic Engineering* , Vol. 124, No. 4, April 1998
- [4] Giles, Ranald V, *Fluida Mechanic and Hydraulics*, Mc Graw Hill Book Company, 1976.
- [5] Henderson, F.M, *Open Channel Flow*, MacMillan, New York, 1966
- [6] Julien, Pierre Y, *Erosion and Sedimentation*, Combridge University Press, New York, 1995.
- [7] King H. W., *Hydraulics*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1949.
- [8] Kumar K. L., *Engineering Fluida Mechanics*, Eurasia Publishing House Ltd. New Delhi, 1976.
- [9] Linsley, Ray K, Joseph B Fanzini, *Water Resources Engineering*, Mc. Graw Hill, Inc,
- [10] Nalluri, RE Featherstone C., *Civil Engineering and Flood Protection*, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1978.
- [11] Peterka, A.L, *Hydraulic Design of Stilling Bassins and Energy Dissipators*, United States Dep, Of Interiors, 1964
- [12] Pragnjono Murdjikosa, Prof. Ir., *Angkutan Sedimen*, PAU Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1978.
- [13] Rijn, Leo C. Van., *Sedimen Transport*, Delfi, 1985.
- [14] Rouse, *Engineering Hydraulics*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1949.
- [15] Senturk, Fuat, PhD, *Hydraulics of Dam*, D. Water Res. Publication, Fort Collins, 1994
- [16] Sharp JJ., *Hydraulics Modelling*, Butterworths, London, 1981.
- [17] Simon, DB, Senturk, F, *Sediment Transport Technology*, Water Resources Publications, Fort Collins, 1977
- [18] Soemarto CD, Ir. B.I., Dipl. HE., *Hidrologi dan Pengaturan Sungai*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.
- [19] Yang Chih Ted, *Sediment Transport*, McGraw Hill Company, New York, 1996.
New York, 1979